

«ПРОМИСЛОВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА»

ПРОМЕЛЕКТРО

PROMELEKTRO.COM.UA

ISSN 2409-2924



ШИРОКОМАСШТАБНИЙ МОНИТОРИНГ
ОЕС УКРАЇНИ — ФУНДАМЕНТ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ
ТА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ НЕЗАЛЕЖНОСТІ

с. 8



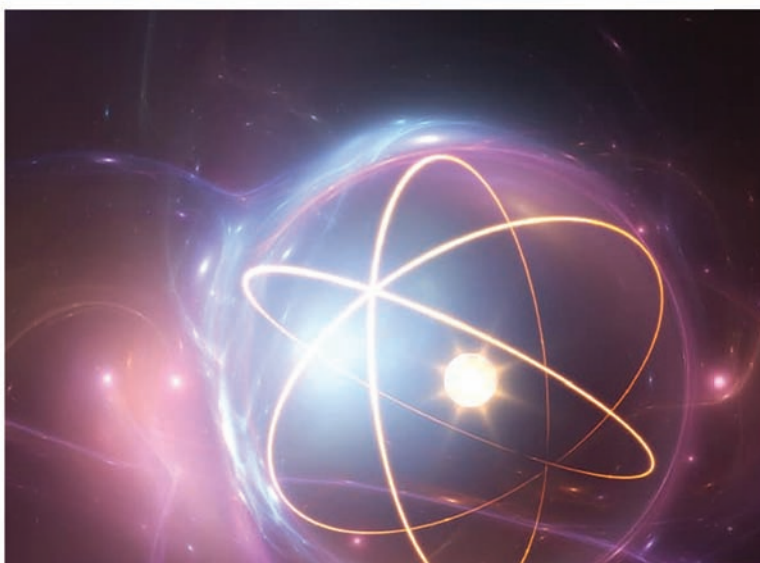
СУЧАСНІ РІШЕННЯ ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ СПОЖИВАЧІВ
ВІД КОМПАНІЇ OMNIVERTER

с. 26



ЯК МАЙБУТНІ РІШЕННЯ ЄС
МОЖУТЬ ПЕРЕФОРМАТУВАТИ
УКРАЇНСЬКУ ЕНЕРГЕТИКУ

с. 42



МАЙБУТНЄ ВЖЕ ЗАРАЗ —
ПРОЄКТ ДБН В.2.5-ХХ:202Х — ПРОЄКТУВАННЯ
ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

с. 62

XXIII МІЖНАРОДНА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА
ЕНЕРГЕТИКА В ПРОМИСЛОВІСТІ'2026



13–15
ЖОВТНЯ

1

2026

травень

**НАБЛИЖАЄМО ЕНЕРГЕТИКУ
МАЙБУТНЬОГО СЬОГОДНІ**

**ХVІІІ МІЖНАРОДНА
СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА
ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ, ЕКОЛОГІЇ,
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ**

13 – 15 жовтня



**EcoEnergy
Expo'2026**



Місце проведення:
МВЦ, м. Київ,
Броварський пр-т, 15,
станція метро «Лівобережна»

Контакти:

 +38 (095) 268-05-84
 lyudmila@iec-expo.com.ua
 www.iec-expo.com.ua



ТОВ "ЕЛЕТЕР — 23"

ЄДРПОУ 39301468
02094, м. Київ, вул. Магнітогорська, 2
Тел.: +380 50 311 37 83
+380 50 311 40 51

E-mail: eleter23@i.ua

Підприємство професійно займається розробленням і впровадженням електричних кабельних систем опалення та антикригових систем в процесі будівництва і реконструкції.

1. Комфортне електроопалення "Тепла підлога" в житлових та громадських будівлях, понад 6000 систем, серед яких:

- ❑ Михайлівський Золотоверхий монастир в м. Києві;
- ❑ надземні споруди станції "Лук'янівська" київського метрополітену;
- ❑ 15 станцій Київського метрополітену (Індром, Виставковий центр, Васильківська, Деміївська, Голосіївська та інші)
- ❑ житлові й громадські будівлі та споруди, окремі приміщення по всій Україні.

2. Антикригові системи покрівель, понад 600 систем, серед яких:

- ❑ Успенський собор Києво-Печерської лаври;
- ❑ Михайлівський Золотоверхий Собор в м. Києві;
- ❑ Національна філармонія України;
- ❑ Верховна Рада України;
- ❑ Розрахункова палата в м. Києві;
- ❑ Центральний і Південний вокзали м. Києва.

3. Антикригові системи відкритих поверхонь (під'їзні шляхи і пішохідні доріжки, пандуси підземних паркінгів, виходи з підземних переходів, відкриті балкони) на площі понад 300 тис. м², серед яких:

- ❑ підігрів газонів футбольних полів: стадіон ім. В.В. Лобановського, м. Київ, стадіон ФК "Оболонь", м. Київ, стадіон ФК "Ворскла", м. Полтава;
- ❑ підземні переходи Майдану Незалежності, вул. Хрещатик, Бессарабської площі, Севастопольської площі, Центральний і Південний вокзали м. Києва та ін.;
- ❑ станції метро "Лук'янівська", "Печерська", "Шулявська", "Дружби народів", "Дорогожичі".

4. Промисловий обігрів технологічного обладнання (електрообігрів труб та резервуарів)

- ❑ Підігрів полу промислових морозильних камер на підприємстві ТОВ "Бейкері Фуд Індастрі", смт Козелець Чернігівської області
- ❑ Чотири цукрових заводи в Україні (трубопроводи та ємності);
- ❑ Макіївський металургійний завод (обігрів трубопроводів зворотного водозабезпечення).



УСПЕНСЬКИЙ СОБОР КИЄВО-ПЕЧЕРСЬКОЇ ЛАВРИ
Системи електрокабельного опалення та антикриги



КИЇВСЬКИЙ ЗАЛІЗНИЧНИЙ ВОКЗАЛ
Антикригова система



МАРІЇНСЬКИЙ ПАЛАЦ У КИЄВІ
Система тепла підлога



БУДИНОК "АРЕНА СІТІ В КИЄВІ"
Антикригова система



УФК "ДИНАМО" КИЇВ
Система підігрівання поля



НАЦІОНАЛЬНИЙ ЗАПОВІДНИК "СОФІЯ КИЇВСЬКА"
Система електрокабельного опалення



ГІРСЬКОЛИЖНИЙ КУРОРТ БУКОВЕЛЬ
Системи електрокабельного опалення та антикриги



ЗАЛІЗНИЧНИЙ ВОКЗАЛ • СТАНЦІЯ "РОЗДІЛЬНА"
Антикригова система

Відділення "Укрпошта"

Періодичність — 2 номери на рік

Свідцтво про державну реєстрацію:
серія KB, № 2079 від 16.07.1996 р.

Свідцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції:
серія ДК, № 5613 від 25.09.2017 р.

Суб'єкт у сфері друкованих медіа від 07.03.2024 р.
Ідентифікатор медіа — R30-02923



ВИДАВЕЦЬ ТОВ "ЕТІН"

ДИРЕКТОР

Любич Мар'ян Орестович

РЕДАКТОР

Козенко Олександр Миколайович

НАУКОВИЙ РЕДАКТОР

Буткевич Олександр Федотович, д.т.н.

Професор. Головний науковий співробітник
Інститут електродинаміки НАН України

ГОЛОВА РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ

Денисюк Сергій Петрович, д.т.н.

Директор Інституту енергозбереження
та енергоменеджменту

Професор. Кафедра електропостачання
НТУУ "Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського"

ВИПУСКАЮЧИЙ РЕДАКТОР

Облакевич Сергій Вікторович

Директор ТОВ "Альтіс-Енерго"
Корпорація Альтіс холдинг

ТЕХНІЧНИЙ РЕДАКТОР

Чижик Павліна Андріївна

ФОТОКОРЕСПОНДЕНТ

Зубова Ольга В'ячеславівна

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ

ТОВ "ЕТІН"

03190, м. Київ, а/с № 15

www.promelektro.com.ua

promelektro.etin@gmx.de

promelektro.etin@gmail.com

+380 44 228 82 68

ОРИГІНАЛ-МАКЕТ ТОВ "ДІА"

03022, м. Київ, вул. Васильківська, 45

dia_1997@ukr.net

+380 99 225 73 68

Рекомендовано до публікації редакційною колегією,
протокол № 1 від 26.05.2026 р.

Підписано до публікації 27.05.2026 р.

Дата виходу номеру 29.05.2026 р.

Формат 60×84 1/8. Ум. друк. арк. — 8,84.

Обл. вид. арк. — 9,36.

2026

№1

ІІІ

ЗМІСТ

6 НОВИНИ

- 6 СМС 500 від OMICRON — новий орієнтир у випробуваннях систем захисту

8 ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ

- 8 Денисюк С.П., Сопель М.Ф., Ущановський К.В.
Широкомасштабний моніторинг ОЕС України —
фундамент енергетичної безпеки та технологічної незалежності
- 20 Слинко В.М., Сподинський О.В.
Пристрій синхронізованих векторних вимірювань (PMU) „Регіна-Ч“

26 ПІДСТАНЦІЇ ТА ЩИТОВІ

- Михайлов В.П.
26 Сучасні рішення для стабілізації електропостачання промислових споживачів
від компанії Omnivert
- 31 Сучасні підходи до захисту критичного електроживлення з використанням
ДБЖ середньої напруги OMNI MV UPS

38 ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА

- 38 Шихайлов М.О., Коханевич В.П.
Використання відцентрових сил для регулювання кутової швидкості роторів
вітродіелектричних установок
- 42 Як майбутні рішення ЄС можуть переформатувати українську енергетику

46 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК

- 46 Манілов А.М., Товстюк С.О.
Про автоматичне вимкнення в кінцевих колах з робочим струмом понад 32 А

50 НАУКОВІ РОЗРОБКИ

- 50 Шестеренко В.Є., Чорний Ю.А.
Перспективи використання матеріалів з ефектом пам'яті форми
в електроенергетиці

62 НОРМАТИВНО-ПРАВОВА БАЗА

- 62 Облакевич С.В.
Майбутнє вже зараз — Проєкт ДБН В.2.5-XX:202X —
Проектування фотоелектричних станцій
- 72 Ворушило А.О., Квицинський А.О.
Про очікувані зміни у нормативному забезпеченні електроенергетики

За достовірність інформації та реклами відповідальність несуть автори та рекламодавці.
Редакція може не поділяти точку зору авторів статей. Редакція зберігає за собою право редагувати і скорочувати зміст статей.
Надіслані матеріали не повертаються. Передрук та використання матеріалів можливе тільки з письмового дозволу редакції
Усі використані або згадані товарні знаки, марки належать їх законним власникам.
В оформленні використані інформаційні матеріали фірм-виробників, установ, підприємств.
Матеріали позначені знаком друкуються на правах реклами.
Претензії щодо якості реклами, строків публікації не приймаються.



VIII Міжнародна спеціалізована виставка
низьковольтної електротехніки
та електроніки

ELECTRO INSTALL 2026

Жовтень 13–15

Місце проведення:

**МІЖНАРОДНИЙ
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР**



Україна, м. Київ, Броварський пр-т, 15

тел.: +38 (095) 268-05-84

e-mail: lyudmila@iec-expo.com.ua

www.iec-expo.com.ua



Гребченко Миколай Васильович,

д.т.н. Професор.

Зав. кафедри електропостачання

Національний університет біоресурсів

і природокористування України

Фаренюк Геннадій Григорович,

д.т.н., с.н.с.

Директор ДП “Державний науково-дослідний

інститут будівельних конструкцій”

Голова ТК 302, Мінрегіон,

“Енергоефективність будівель і споруд”

Сорокін Віктор Михайлович,

чл.-кор. НАН України, д.т.н. Професор.

Заст. директора Інституту фізики напівпровідників

ім. В.Є. Лашкарьова НАН України

Калінчик Василь Прокопович,

к.т.н., с.н.с. Доцент.

Директор НДІ автоматики та енергетики “Енергія”

НТУУ “Київський політехнічний інститут”

Кафедра електропостачання

НТУУ “Київський політехнічний інститут”

Квицинський Анатолій Олександрович,

к.т.н. Доцент. Головний інженер

Науково-технічний центр електроенергетики

ДП “НЕК Укренерго”

Слинько Володимир Мефодійович,

к.т.н., с.н.с.

Керівник науково-дослідного центру випробувань

засобів автоматизації в енергетиці

Інститут електродинаміки НАН України

Гапон Дмитро Анатолійович,

к.т.н. Доцент.

Кафедра автоматизації енергосистем

НТУ “Харківський політехнічний інститут”

Любич Михайло Орестович,

к.т.н. ФРН.

Фахівець у галузі вітроенергетики

Жабський Юрій Вікторович

Директор ТОВ “Вінд Фарм”

Заслужений будівельник України

Лубинський Борис Борисович

Фахівець з правового забезпечення

Беккерман Олександр Едуардович

Заступник технічного директора,

керівник регіонального структурного підрозділу

ТОВ КК “Вітряні парки України”

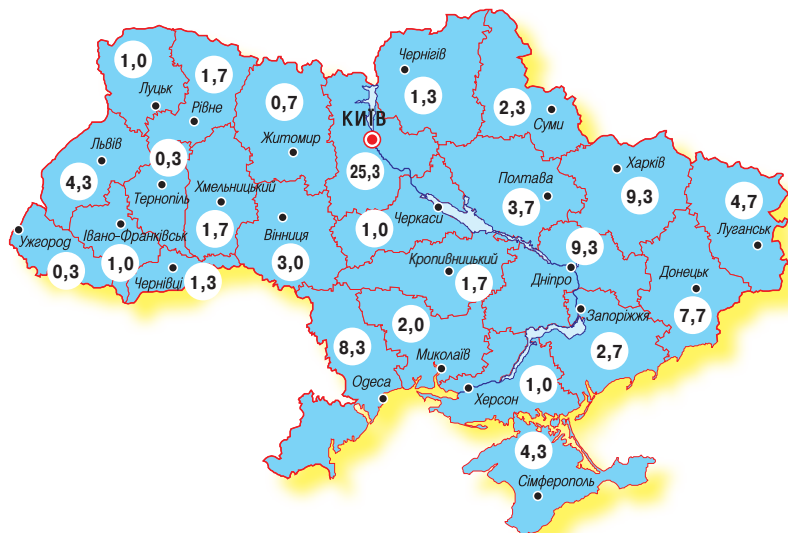
Петришин Богдан Михайлович

Заслужений будівельник України

Черкашин Ігор Юрійович

Голова Громадського об'єднання

“Експертна платформа з енергоефективності”



ЗБІРНИК ВИДАЄТЬСЯ ЗА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ТА СПІВПРАЦІ З НИЗКОЮ ОРГАНІЗАЦІЙ

ДП “НЕК Укренерго”

Інститут електродинаміки

НАН України

Інститут технічної теплофізики

НАН України

ДП “Державний науково-дослідний
інститут будівельних конструкцій”

НТУУ “Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського”

НТУ “Харківський політехнічний
інститут”

Донецький національний
технічний університет

Національний університет біоресурсів
і природокористування України

Інститут енергозбереження
та енергоменеджменту

ХНТУМГ імені О.М. Бекетова

ТОВ “Вінд Фарм”

АППАУ

АСОЦІАЦІЯ ПІДПРИЄМСТВ
ПРОМИСЛОВОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ
УКРАЇНИ

КБУ

Конфедерація
Будівельників
України



Асоціація
енергоаудиторів

ІАВІО

Біоенергетична асоціація України



АСОЦІАЦІЯ
ВИРОБНИКІВ
СВІТЛОДІОДНОЇ
ТЕХНІКИ



УКРАЇНСЬКА
ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНА
АСОЦІАЦІЯ

РУБРИКИ ЗБІРНИКА

Державна політика

Новини та події

Виробники України

Електричні мережі

Електричні станції

Підстанції та щитові

Електричні машини

Релейний захист

Автоматизація технологічних
процесів АСУ ТП

Облік електроенергії

Світлотехніка

Блискавкозахист та заземлення

Електробезпека електроустановок

Відновлювана енергетика

Енергоефективність та енергозбереження

Інформаційна безпека

Проектування та монтаж

Експлуатація та ремонт

Економіка

Наукові розробки

Нормативно-правова база

Запитання — Відповіді

Книжкова полиця



ІНДЕКС 22859



МИ З ВАМИ ПЕРЕДПЛАТА 2027



ОБИРАЙ НАС

СМС 500 ВІД OMICRON — НОВИЙ ОРІЄНТИР У ВИПРОБУВАННЯХ СИСТЕМ ЗАХИСТУ



Модульний багатофазний випробувальний комплект СМС 500 забезпечує ефективне випробування окремих реле захисту та комплексну перевірку систем захисту. Він задає нові стандарти ефективності, універсальності, кібербезпеки та електробезпеки користувачів. З 7-ма джерелами напруги (по 300 В кожне) і 10-ма джерелами струму (від 30 до 60 А на канал, однофазно до 450 А) СМС 500 відмінно підходить для використання в польових умовах, для експлуатації, а також для пуско-налагоджувальних робіт на звичайних, гібридних і цифрових підстанціях. Мобільний пристрій, що відрізняється компактністю та невеликою вагою (12,1–15,6 кг), підтримує широкий спектр застосовувань.



АВТОМАТИЗАЦІЯ ЗАДЛЯ ЕФЕКТИВНИХ ВИПРОБУВАНЬ

СМС 500 забезпечує високу ефективність тестування за рахунок стандартизованих планів випробувань та майже повністю автоматизованого виконання та документування результатів. Порівняно з випробуваннями вручну це скорочує зусилля на 80%. Повторюваність та відтворюваність гарантують незмінно високу якість випробування та не потребують додаткових зусиль. Потужні програмні опції дозволяють ефективно перевіряти як уставки реле, так і поведінку системи захисту загалом.



СМС 500 — модульний багатофазний випробувальний комплект для тестування реле захисту та пусконаладжувальних випробувань

РІШЕННЯ ДЛЯ СЬОГОДНІШНІХ ТА МАЙБУТНІХ ЗАВДАНЬ

Підтримка таких протоколів, як GOOSE, R-GOOSE, MMS і Sampled Values (в т.ч. з наборами даних, що налаштовуються), дає можливість випробовувати як нинішні, так і майбутні покоління реле. Ці протоколи легко інтегруються в плани випробування, дозволяючи повною мірою використовувати переваги автоматизованого тестування у цифрових мережах IEC 61850.

КІБЕРБЕЗПЕКА НА РІВНІ КОНСТРУКЦІЇ ДЛЯ ЗАХИСТУ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

З конструкцією СМС 500 ретельно попрацювали з метою усунення кіберзагроз на підстанціях. Оснащений модулем Trusted Platform Module (TPM2.0) за стандартом ISO/IEC-11889, він використовує сертифікати та безпечно завантаження для запобігання впливу невідомого програмного забезпечення або шкідливого коду. Додаткові функції безпеки включають унікальну автентифікацію пристрою та зашифрований, захищений паролем зв'язок між пристроєм та ПК. Концепція кібербезпеки OMICRON є невід'ємною частиною конструкції і постійно оновлюється протягом усього життєвого циклу пристрою.



Кнопка режиму роботи та ключ INTERLOCK гарантують максимальну безпеку робочого місця. Висока вихідна потужність дозволяє проводити випробування з подачею первинних струмів.

БІЛЬШЕ БЕЗПЕКИ ДЛЯ КОРИСТУВАЧІВ ПІД ЧАС ВИПРОБУВАНЬ

Багаторівнева концепція безпеки відповідно до стандарту ISO 13849-1 включає ключ блокування і кнопку режиму роботи, що забезпечують високий

рівень безпеки. Червоні сигнальні лампи завжди чітко вказують на будь-який потенційно небезпечний стан виходів. Крім того, інтерфейс для кількох зовнішніх кнопок аварійної зупинки дозволяє легко забезпечувати безпеку робочого місця відповідно до EN 50191.

УНІВЕРСАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ, ЯКИЙ ЗАДОВОЛЬНЯЄ НАВІТЬ УНІКАЛЬНІ ВИМОГИ

СМС 500 забезпечує випробування реле захисту всіх поколінь, включаючи новітні технології захисту, такі як реле з сенсорними входами та реле захисту на принципі хвилі, що біжить. Він також дозволяє проводити функціональні випробування трансформаторів струму, силових вимикачів та перетворювачів. Завдяки десяти вимірювальним входам (двійковим та аналоговим) для вимірювань у реальному часі та запису двійкових та цифрових сигналів пристрій забезпечує швидкий аналіз пошкоджень або аналіз операцій переключення. Також доступне різне приладдя для спеціалізованих випробувань.

Детальну інформацію можна знайти на сторінці omicronenergy.com/cmc500.

ПРО КОМПАНІЮ

OMICRON — провідний міжнародний постачальник рішень, які підвищують надійність та безпеку енергосистем. Це наша головна мета та завдання. Наші новаторські розробки дозволяють вирішувати найактуальніші на сьогодні проблеми та підготуватися до викликів, які принесе завтрашній день. Ми завжди робимо ще більше для наших користувачів: оперативно реагуємо на потреби, забезпечуємо високоякісну підтримку на місцях та ділимося своїми знаннями та напрацюваннями.

Досвідчені фахівці OMICRON проводять складні дослідження та розробляють інноваційні технології для всіх галузей електроенергетики. Користувачі з усього світу покладаються на точність, якість, надійність та швидкодію наших зручних сучасних рішень, будь то прилади для вимірювання електричних параметрів середньо- та високовольтного обладнання, засоби перевірки пристроїв захисту, випробувальні системи для високотехнологічних цифрових підстанцій або технології забезпечення кібербезпеки.

З моменту заснування в 1984 році компанія OMICRON накопичила величезний досвід у галузі електроенергетики. Команда з більш ніж 1250 фахівців у 22 офісах по всьому світу забезпечує підтримку наших продуктів у режимі 24/7 для клієнтів із більш ніж 170 країн.

Контакти:

Представництво OMICRON electronics GmbH в Україні

Тимофій Малмигін

tymofiy.malmygin@omicronenergy.com

+38 050 311 68 24





С.П. Денисюк,
д-р техн. наук



М.Ф. Сопель,
д-р техн. наук



К.В. Ущатовський,
д-р екон. наук,
член НКРЕКП

УДК 621.31

Надійшла
Received

11.03.2026

ШИРОКОМАСШТАБНИЙ МОНІТОРИНГ ОЕС УКРАЇНИ — ФУНДАМЕНТ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ НЕЗАЛЕЖНОСТІ

ВСТУП

16 березня 2022 року українська енергосистема була екстрено синхронізована з енергомережею континентальної Європи — ENTSO-E. Це сталося після того, як ОЕС України три тижні відпрацювала в ізолюваному режимі — від'єднавшись від мереж росії та білорусі за кілька годин до початку повномасштабного вторгнення. Приєднання до загальноєвропейської мережі в екстремальних умовах, коли бойові дії відбувались за кілька кілометрів від Києва, безпрецедентний історичний крок. По суті — ми стали частиною “енергетичного Євросоюзу”. Фактично такий перехід було забезпечено за рахунок системи широкомасштабного моніторингу **WAMS (Wide-Area Measurement Systems)** та датчиків **PMU (Phasor Measurement Units)**, інформація яких дозволила диспетчерам (як в Україні, так і в ENTSO-E) бачити українську енергосистему як “динамічно змінювану систему”, а не як серію “статичних знімків”.

Система WAMS — сучасний потужний інструмент моніторингу енергетичних процесів, що відбуваються в енергосистемі в режимі реального часу: відхилення від нормальних параметрів роботи та аварійні процеси. Система WAMS дозволяє спостерігати реальний стан енергосистеми. Так, коли високовольтна лінія відключається, потік потужності перерозподіляється миттєво. Якщо кут між напругами у вузлах системи зростає понад допустиму норму, це сигналізує про ризик розриву синхронізму. Автоматика діє за мілісекунди, щоб локалізувати аварію та не допустити руйнування трансформаторів. Система WAMS спрямована на підвищення стабільності роботи мережі, особливо для регіонів, де виникає втрата статичної стійкості. WAMS дозволить зменшити вірогідність аварійних відключень та зможе покращити надійність роботи енергосистеми.

На початку XXI ст. в Україні Інститутом електродинаміки НАН України та МПП “АНІГЕР” була розроблена галузева стратегія формування системи WAMS, реалізація якої підтвердила значну ефективність широкомасштабного моніторингу для електроенергетичної системи України.

У 2007 та 2014 роках система WAMS в Україні лише починала активно впроваджуватися. Саме аварії 2007 та 2014 років стали поштовхом для встановлення

датчиків PMU на ключових підстанціях 750 кВ, щоб бачити динамічні коливання фазового кута під час розривів ліній, що ми й спостерігаємо в сучасних інцидентах.

Відповідно до розробленої концепції НЕК “Укренерго” встановлює на своїх підстанціях вимірювальні прилади системи WAMS та PMU. В Україні пристрої PMU встановлені майже на всіх ключових підстанціях 750 кВ та на основних електростанціях, що робить нашу систему однією з найбільш контрольованих у Східній Європі з точки зору перехідних процесів. Наразі українська енергосистема працює в режимі постійної синхронізації, що дозволяє ефективно керувати ризиками виникнення системних розхитувань.

За рахунок реалізації Проєкту енергетичної безпеки — USAID Energy Security Project та виділення позиків та гранти на системну реконструкцію магістральних мереж Світовим банком на підстанціях ОЕС України було встановлено сучасне обладнання (зокрема, мікропроцесорні реле з підтримкою стандарту IEC 61850), що дозволяє інтегрувати дані PMU безпосередньо в системи цифрового захисту НЕК “Укренерго” та стали фундаментом для інтеграції української мережі із європейською системою ENTSO-E.

1. РОЛЬ СИСТЕМ WAMS ТА ПРИСТРОЇВ PMU У ВЗАЄМОДІЇ ЕНЕРГОСИСТЕМ УКРАЇНИ ТА ЄВРОПИ

Роль WAMS та PMU для успішної роботи Бурштинського енергоострова з європейською енергосистемою. До приєднання України до ENTSO-E (березень 2022 року), Бурштинський енергоострів був унікальним анклавом, який працював синхронно з Європою, будучи фізично від’єднаним від решти української мережі. Система WAMS відіграла критичну роль у підтримці цього режиму, а згодом — у його інтеграції. Детальні факти про роль WAMS та PMU для роботи “енергоострова”: контроль частотної стабільності в обмеженому просторі; управління “кутом розходження” фаз; перехід від “енергоострова” до синхронної зони (2022 р.); моніторинг перетоків у 2023–2026 роках.

Встановлені на ПС “Мукачево” та ПС “Західно-українська” датчики PMU дозволяли європейським операторам (MAVIR, SEPS) аналізувати стан енергоострова в реальному часі, забезпечуючи ефективну співпрацю з українськими енергетиками. Без технології WAMS робота Бурштинського острова була б набагато ризикованішою, а його об’єднання з ОЕС України в умовах війни могло б затягнутися на місяці замість лічених годин.

4 листопада 2006 року (близько 22:10 за середньоевропейським часом) сталася одна з наймасштабніших аварій у енергосистемі Європи. Об’єднана енергосистема Європи (UCTE) розпалася на три ізольовані частини (острови) з різними частотами струму: Західну (зона 1), Східну (зона 2) та Південно-Східну (зона 3), куди входила частина Західної України. У цей день о 22:10:29 лінія 400 кВ Мукачево (Західна Україна) — Розіорі (Румунія) було відключено в Мукачево (спрацювання автомату за-

хисту, який вимкнувся). Процес ресинхронізації зони 1+2 та зони 3 розпочався одразу після успішного повторного підключення зон 1 та 2 з увімкненням лінії 400 кВ Мукачево-Розіорі (Mukachevo-Rosiori) о 22:49:35 та контролювався **системою WAMS, розробленою Інститутом електродинаміки НАН України та МПП “АНІГЕР”**.

Тест в ізольованому режимі (24 лютого 2022). WAMS відіграла критичну роль у ніч вторгнення: о 00:00 Україна відключилася від енергосистем росії та білорусі. PMU зафіксували успішний перехід на частоту 50,00 Гц в автономному режимі. Попри початок бойових дій о 5 ранку, WAMS підтвердила, що система втримала частоту без зовнішньої підтримки. Це стало головним аргументом для ENTSO-E щодо екстреного приєднання. Дані WAMS/PMU стали ключовим інструментом аналізу стійкості української енергосистеми.

Напрямки застосування систем WAMS та пристроїв PMU у взаємодії енергосистем України та Європи:

1. **Захист Європи від “інфекції” блекауту.** Коли в Україні стається масштабна аварія (як 31 січня 2026 року), виникли низькочастотні коливання. Якщо їх не зупинити, вони могли б поширитися на всю мережу ENTSO-E, спричиняючи відключення станцій у Польщі чи Німеччині.

2. **Миттєва верифікація аварій на інтерконекторах.** У разі пошкодження транскордонних ліній (наприклад, лінії 400 кВ Ісакча — Вулканешти). PMU миттєво повідомив, де саме стався обрив — на території України чи Румунії. Це знімає політичні та технічні питання щодо відповідальності за збій та дозволяє ремонтним бригадам виїжджати на місце без довгих звірок даних.

3. **Динамічне керування лімітами імпорту.** Раніше ліміти на передачу енергії були жорстко обмежені “із запасом”. Тепер, завдяки системі моніторингу в реальному часі, Європа дозволяє Україні імпортувати більше (до 2,1 ГВт), бо бачить реальний рівень стійкості мережі в кожну секунду. Це рятує Україну від довгих блекаутів у зимовий період.

4. **Виявленні системних аварій та блекаутів в Україні.** Системи WAMS та пристрої PMU неодноразово відіграли (та й будуть у подальшому відігравати) критичну роль у стабілізації системи, оскільки вони дозволяють бачити стан мережі не просто в реальному часі, а “зсередини” динамічних процесів: виявлення “острівців” через WAMS; синхронізація з ENTSO-E; аналіз перехідних процесів (коливання потужності в реальному часі); виявлення “хитань” (осциляцій — низькочастотних коливань потужності).

Приклад: 31 січня 2026 року через ПС 400 кВ “Мукачево” здійснювалися активні технічні перетоки, проте вони були частиною загальносистемного збою, що призвів до тимчасового від’єднання української та молдовської мереж від енергосистеми Континентальної Європи (ENTSO-E). Напруга 408,5 кВ на ПС “Мукачево” стала опорною точкою, від якої почалося “підняття” всієї енергосистеми України після блекауту. Якби напруга в Мукачеві не втрималася вище 380 кВ, синхронізація була б

неможливою, і відновлення живлення Києва та Харкова затягнулося б на довгі години. Під час режиму ресинхронізації о 11:05 для ввімкнення транзиту зі сторони Вельке Капушани (Словаччина) напругу було штучно піднято до опорного значення 408,5 кВ. Це було необхідно для синхронізації фазових кутів між європейською мережею та українським сегментом.

2. РОЛЬ WAMS ТА PMU У ЗАПОБІГАННІ СИСТЕМНИХ АВАРІЙ ТА ЛІКВІДАЦІЇ БЛЕКАУТІВ

WAMS та PMU при запобіганні системним аваріям та ліквідації блекаутів забезпечує:

- синхронізація з ENTSO-E: європейські оператори вимагають високої точності даних; впровадження WAMS — це обов'язкова умова для стабільної паралельної роботи з ЄС;
- стійкість до атак: коли система розпадається на частини через пошкодження, лише мережа PMU дозволяє диспетчеру розуміти, які частини працюють синхронно, а які — ні.

Як спрацювали WAMS та PMU для виявлення системних аварій та блекаутів в Україні.

1) Блекаут 23 листопада 2022 року: “Розрив синхронізації”

Це була найскладніша подія з точки зору динаміки частоти. Через масові влучання в підстанції та мережі 750 кВ відбулося миттєве відключення всіх АЕС (спрацював захист реакторів через втрату мережі). Інформація WAMS показала, що ОЕС України розпалася на 3 ізольовані енергорайони (Південно-західний район: базувався на генерації Південноукраїнської АЕС; Західний район: отримувал живлення від Рівненської та Хмельницької АЕС, а також мав зв'язок із європейською енергомережею ENTSO-E; Центральньо-східний район: найскладніша зона, де значна частина споживачів залишилася без живлення через відключення ТЕС та критичні пошкодження мереж 750 кВ). В кожному районі частота “змінювалася” автономно (в одних був надлишок генерації — частота росла, в інших — дефіцит — частота падала).

Оскільки дані WAMS є внутрішньою технічною інформацією НЕК “Укренерго” і мають обмежений доступ з міркувань безпеки (особливо під час воєнного стану). Загальна характеристика графіків, як осцилограми перехідних процесів: різке падіння частоти з 50,00 Гц до критичних 49,2–49,0 Гц протягом лічених секунд.

Під час процесу ресинхронізації (відновлення) графік показував поступове “сходінкове” повернення до 50 Гц у міру того, як диспетчери з'єднували “острови” назад у єдину мережу, що тривало близько 14 годин.

2) Події весни–літа 2024 року: “Режим виживання”

На відміну від 2022 року, система встояла як єдина цілісна структура, але з екстремальними дефіцитами. Загальна характеристика графіків, як осцилограми перехідних процесів: частота стабільно трималася близько 49,95–50,05 Гц, але графік доступної потужності мав глибокі провали.

Дані від PMU фіксували “міжзонні коливання” (inter-area oscillations). Оскільки генерація на Сході та Центрі була вибита, величезні потоки енергії йшли з Заходу (імпорт з ЄС). Це створювало ризик динамічної нестабільності. На графіках було видно зміни в генерації ГЕС та ГАЕС, обумовлені діями НЕК “Укренерго”, які “вистрілювали” в моменти піків, щоб втримати частоту, коли сонячна генерація зникла ввечері.

3) Січень–лютий 2026: “Холодний пік”

Спостерігалась робота системи в умовах максимального залучення європейської допомоги. Загальна характеристика графіків, як осцилограми перехідних процесів: дуже “нервовий” графік у вечірні години (17:00–21:00). Кожен стрибок споживання компенсується або імпортом (до 2,45 ГВт), або графіками погодинних відключень (ГПВ).

Завдяки системі WAMS, диспетчери бачать найменші коливання напруги на кордоні з Польщею та Румунією. Якщо частота починає падати навіть на 0,05 Гц, миттєво активується аварійна допомога з ЄС.

4) Масштабна каскадна аварія 31 січня 2026 року, пристрої PMU та система WAMS зафіксували аномальні показники о 10:42:01. Хронологія спрацювання системи:

1) 10:42:01.000–10:42:01.200: датчики PMU зафіксували різке розходження фазових кутів напруги між підстанціями Заходу (Хмельницька АЕС) та Центру (ПС Київська). Це був момент фізичного відключення лінії 750 кВ;

2) 10:42:02: система WAMS відобразила критичне падіння частоти нижче за поріг 49,5 Гц у Центральному та Південному регіонах;

3) 10:42:05: завдяки даним PMU, диспетчери побачили “електричне хитання” (осциляції), що дозволило автоматично САВН (система автоматичного запобігання порушенню стійкості) від'єднати пошкоджені ділянки до того, як аварія стала некерованою.

Під час системної аварії 31 січня 2026 року ОЕС України не розпалася на багато ізольованих районів, як у 2022 році, а фактично розділилася на дві основні частини з подальшим каскадним відключенням споживачів у конкретних регіонах. Двома частинами та однією зоною впливу під час інциденту були:

- Західний енергорайон (синхронний з ENTSO-E): через розрив зв'язків із центром, західні області та частина генерації (зокрема Рівненська та Хмельницька АЕС) короткочасно опинилися у складі європейської енергосистеми окремо від решти України;
- Центральньо-Південний масив (відокремлений від ЄС): ця частина системи тимчасово втратила синхронізацію з Continental Europe через відключення лінії 400 кВ (Румунія — Молдова) та внутрішньої лінії 750 кВ;
- острів Молдова — Одеса: через аварію на транзитних лініях Молдова та Одеська область зазнали різкого падіння напруги, що призвело до масових відключень у Кишиневі та Одесі.

Загальна характеристика графіків, як осцилограми перехідних процесів:

- графік частоти (f , Гц): виглядає як “прірва” — рівна лінія на 50.0 Гц, яка різко падає до 49.0–49.2 Гц за частки секунди, а потім ступінчасто повертається до норми після спрацювання автоматики відключення споживачів;
- графік фазового кута (δ , град): дві лінії, що йшли паралельно, миттєво розходяться в різні боки — це момент розриву зв’язку між регіонами.

Від системи WAMS була отримана інформація про технологічний збій 31 січня 2026 року, зокрема через обледеніння відбулося пошкодження трансформаторних ліній і обладнання МП “Вінницька” та спрацювання систем автоматики:

1) причини збою та обледеніння: про те, що причиною відключення ліній 400 кВ та 750 кВ стало обледеніння та вихід з ладу автотрансформатора, (Міненерго, НЕК “Укренерго”);

2) деталі щодо ліній: подробиці про стан лінії Ісакча–Вулканешти та її вплив на мережі України та Молдови;

3) зупинка транспорту: дані про зупинку метро у Києві та Харкові підтверджені офіційними ресурсами КМДА та Харківської міської ради;

4) використання WAMS та PMU: технічна інформація про роль систем WAMS у синхронізації з Європою базується на технічних регламентах ENTSO-E та щорічних звітах про цифровізацію мереж від “Укренерго”.

Після блекауту 2022 року відновлення системи відбувалося саме за допомогою WAMS:

- контроль синхронізму: диспетчери бачили точну різницю фаз між “островами”, де працювали АЕС, та сусідніми підстанціями.
- замикання кільця: з’єднання частин системи відбувалося лише тоді, коли дані PMU підтверджували мінімальну різницю частот (менше 0,05 Гц).

Без системи WAMS час відновлення України після блекауту 23 листопада 2022 року, інциденту влітку 2025 року міг би тривати не 24 години, а кілька діб (на основі розрізнених записів), оскільки ризик повторного розпаду при ручній синхронізації був би занадто високим. У свою чергу, PMU дозволили створити “цифрову реконструкцію” події з мілісекундною точністю, що є основою для рекомендацій у фінальних звітах ENTSO-E.

Під час інциденту 31 січня 2026 року системи WAMS та пристрої PMU відіграли критичну роль у запобіганні повному розвалу енергосистеми:

- миттєва фіксація перетоку: саме завдяки PMU диспетчери НЕК “Укренерго” побачили реальний кут розходження фаз між західним енерговузлом (де працювала Рівненська АЕС) та центральною частиною України за лічені мілісекунди після розриву лінії 750 кВ;
- діагностика “кільцевого перетоку”: система WAMS зафіксувала різке зростання амплітуди коливань на міждержавному перетині з Польщею; це дозволило зрозуміти, що надлишкова потужність РАЕС пішла “транзитом” через європейську мережу ENTSO-E, створюючи ризик каскадної аварії вже в Європі;
- автоматичне розвантаження (CABH): дані з PMU використовуються системами автоматики (CABH —

система автоматичного запобігання порушенню стійкості). Оскільки WAMS показала критичне коливання частоти, автоматика миттєво дала команду на розвантаження блоків РАЕС, не чекаючи ручних команд диспетчера;

- аналіз “post-mortem”: після стабілізації ситуації саме дані WAMS/PMU стали головним джерелом для розслідування; вони підтвердили, що причиною був технічний збій на підстанції, а не зовнішнє втручання.

Системи WAMS та пристрої PMU (відіграли критичну роль у стабілізації системи під час аварії 31 січня 2026 року, оскільки вони дозволяють бачити стан мережі не просто в реальному часі, а “зсередини” динамічних процесів.

Під час аварії 31 січня 2026 року саме датчики на ПС “Вінницька” та ПС “Західноукраїнська” першими зафіксували розбіжність фазових кутів, що дозволило автоматично відпрацювати до того, як генератори АЕС пішли в “рознос”. У 2026 році автоматика, базуючись на даних WAMS, зреагувала за мілісекунди. Замість того, щоб чекати зупинки реакторів, система негайно відключила великих споживачів та цілі регіони (Київ, Харків). Це збалансувало систему: генерації (АЕС) стало стільки ж, скільки й споживання, тому реактори не пішли в аварійний стоп.

Порівняння результату для енергоблоків:

- 23 листопада 2022: втрата живлення власних потреб АЕС → запуск дизель-генераторів → довгий процес підйому потужності (до 2–3 діб);
- 31 січня 2026: збереження блоків у мережі → швидке відновлення потужності після ремонту ліній (протягом кількох годин).

Застосування пристроїв синхрофазорних вимірювань PMU стало ключовим фактором, що дозволив енергосистемі України вистояти під час масованих атак та успішно синхронізуватися з європейською мережею ENTSO-E. Використання векторних вимірювань від PMU дозволило диспетчерському центру НЕК “Укренерго” бачити низькочастотні коливання, що супроводжували розпад системи на окремі “острови” та мати технічну можливість контролювати роз’єднати частини мережі, уникаючи незворотних пошкоджень обладнання.

3. СИСТЕМА WAMS ВИСТУПАЄ ЦИФРОВИМ ФУНДАМЕНТОМ ДЛЯ КЕРУВАННЯ НАДІЙНОЮ ТА СТАБІЛЬНОЮ ЕНЕРГОСИСТЕМОЮ УКРАЇНИ В ЄДИНОМУ ЄВРОПЕЙСЬКОМУ ЕНЕРГООБ’ЄДНАННІ

WAMS та PMU допомагає при синхронізації української мережі з європейською:

- WAMS PMU забезпечує роботу України в єдиному енергoprосторі з ENTSO-E (контроль різниці фазових кутів; моніторинг низькочастотних коливань; верифікація стійкості (Island Mode); швидке виявлення джерела аварії);
- конкретні сценарії, у яких WAMS та пристрої PMU відіграють вирішальну роль у стабілізації енергосистеми України (виявлення “розкачки” системи

(низькочастотні коливання); запобігання аварії при відключенні магістральної лінії; “чорний старт” та синхронізація островів; верифікація математичних моделей);

- застосування WAMS та PMU для підвищення стійкості енергосистеми України (запобігання каскадним аваріям (блекаутам); синхронізація з енергосистемою ЄС (ENTSO-E); моніторинг низькочастотних коливань; швидке відновлення після блекаутів (Black Start); аналіз “цифрових слідів” після атак).

ВДЕ як виклик для надійності. Впровадження WAMS має вкрай важливе значення, що пов’язано з перспективою значного збільшення потужності ВДЕ в енергосистемі України. Оскільки сонце і вітер мінливі, вони створюють *дефіцит інерції*. Традиційні великі турбіни АЕС мають величезну масу, яка за інерцією тримає частоту 50 Гц. Сонячні панелі цього не мають. Забезпечення цифрового рішення про формуванні віртуальної інерції (Virtual Inertia), коли цифрові інвертори ВДЕ, керовані даними від PMU, імітують роботу важкої турбіни, миттєво змінюючи видачу потужності при коливаннях частоти.

Динамічна стійкість через WAMS та PMU надає технологічну перевагу, WAMS та PMU є інструментами цифрової стабільності та запобігання каскадним блекаутам, вирішальним фактором у протистоянні російському енергетичному терору. Завдяки WAMS/PMU час ідентифікації критичних коливань частоти та напруги скорочується з 2–4 секунд до 20–50 мілісекунд, що дозволяє запобігати блекаутам у превентивному режимі. Впровадження інтелектуального моніторингу WAMS та PMU дозволяє системі зберігати керованість навіть за умови розпаду на окремі енергорайони, що перетворює енергосистему з вразливої мішені на розосереджену інтелектуальну мережу, здатну до адаптивного опору зовнішнім впливам.

Розв’язання “конфлікту” між оптимальністю (економією) та живучістю (надійністю) енергосистеми. У ситуації конфлікту між оптимальністю (економією) та живучістю (надійністю) енергосистеми, технології WAMS та PMU відіграють роль “арбітра”. Вони дозволяють системі за рахунок інтелектуального керування працювати максимально близько до межі ефективності, не перетинаючи межу катастрофи. Конкретна роль WAMS та PMU у вирішенні цього протиріччя: зменшення “коефіцієнта страху” (збільшення пропускну здатності): динамічний моніторинг стійкості (DSA); балансування ВДЕ без зайвих витрат; швидке відновлення замість дорогого резервування.

WAMS та PMU на рівні надійності вони допомагають уникати перевантажень (точність вимірів), а на рівні живучості вони дозволяють диспетчеру бачити межі “островів” та безпечно з’єднувати їх назад.

4. ІНФОРМАЦІЯ ПРО НИЗЬКО-ЧАСТОТНІ КОЛИВАННЯ (INTER-AREA OSCILLATIONS) В СИНХРОННІЙ ЗОНІ КОНТИНЕНТАЛЬНОЇ ЄВРОПИ (CESA)

Низькочастотні коливання є характерним явищем для надвеликих енергооб’єднань, таких як син-

хронна зона Континентальної Європи. Подія червня 2025 року з частотою 0,15 Гц є проявом появи нових динамічних явищ — східно-західної моди коливань.

Перед синхронізацією України з ENTSO-E дослідження виявили, що слабо демпфовані коливання саме на низьких частотах можуть бути основною технічною перешкодою. Низькочастотні коливання та резонансні явища на кордонах України з ENTSO-E фіксувалися під час ключових етапів інтеграції. Було зафіксовано, що кут між векторами напруги в Києві та Лісабоні під час цих коливань міг змінюватися на невеликі, але вимірювані значення, що є прямим доказом єдиного динамічного простору.

Ці дані використовуються для регулярного перегляду налаштувань системних стабілізаторів (Power System Stabilizers, PSS) на енергоблоках АЕС, щоб гарантувати, що будь-яке розгойдування системи затухає менш ніж за 10–12 секунд.

Співпраця на рівні ПС 750 кВ “Західноукраїнська” та ПС 400 кВ “Мукачево” є стратегічно важливою, оскільки ці об’єкти є “воротами” між енергосистемами України та ЄС (Польщею, Словаччиною, Угорщиною та Румунією). Співпраця перейшла від рівня “спостереження” до “спільного керування”. На межі балансової відповідальності реалізовано алгоритми *Cross-border WAMS*, які автоматично сигналізують партнерам про небезпечні перехідні процеси ще до того, як вони призведуть до спрацювання релейного захисту та роз’єднання ліній. ПС “Мукачево” та ПС “Західноукраїнська” сьогодні виконують роль “цифрового буфера”, який гарантує, що будь-які збурення в українській мережі будуть вчасно ідентифіковані та локалізовані, забезпечуючи стабільність всьому Європейському континенту.

5. РОЛЬ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА ДАНИХ УКРАЇНСЬКИХ WAMS І PMU ДЛЯ ЄВРОПЕЙСЬКИХ ВЧЕНИХ ЕНЕРГЕТИКІВ ТА РОЗРОБНИКІВ

Під час інциденту 31 січня 2026 року системи WAMS та пристрої PMU відіграли критичну роль у запобіганні повному розвалу енергосистеми, коли показники частоти та фазових кутів були критичними для стабільності всієї синхронної зони Continental Europe. У цей день система WAMS зафіксувала різке зростання амплітуди коливань на міждержавному перетині з Польщею; це дозволило зрозуміти, що надлишкова потужність PAEC пішла “транзитом” через європейську мережу ENTSO-E, створюючи ризик каскадної аварії вже в Європі.

Без даних WAMS/PMU польська сторона могла б розцінити такий стрибок як загрозу своїй безпеці та автоматично відключити лінії з Україною, що призвело б до повного блекауту (острова) західних областей. Ситуація 31 січня 2026 року дійсно стала “бойовим хрещенням” для оновлених протоколів взаємодії PSE та ENTSO-E. Оскільки PMU синхронізують час через GPS з точністю до мікросекунди. Це дозволяє порівнювати фазовий кут у Києві, Варшаві та Брюсселі в реальному часі, забезпечуючи надійність **енергетичного безвізу**.

Досвід України щодо застосування WAMS та PMU сьогодні формує майбутні стандарти енергетичної безпеки світу, зокрема, за напрямком змін підходів до керування мережами, та перспективи, що відкриваються для України та глобальної енергетики. Перехід від локального спостереження до спільної операційної моделі є ключовим досягненням інтеграції. На практиці це працює через платформу ENTSO-E Awareness System (EAS). Дані української WAMS дозволили:

- бачити та аналізувати “фазовий зсув”;
- верифікувати математичні моделі: реальні дані PMU підтверджують точність розрахунків, що дозволяє безпечно збільшувати комерційні ліміти обміну пропускної спроможності (Net Transfer Capacity, NTC);
- синхронно реагувати на атаки: у разі пошкодження магістральних мереж в Україні, WAMS допомагає миттєво оцінити, наскільки стійким залишився “острів”, що відокремився, і як швидше відновити його синхронізацію з основним континуумом.

Українська енергосистема стала для європейських вчених (ENTSO-E, JRC, технічні університети Гданська, Магдебурга та ін.) унікальною “живою лабораторією”. У мирний час ніхто б не дозволив проводити такі екстремальні експерименти на системі Continental Europe, а Україна надає дані від WAMS та PMU, оскільки вони показують поведінку великої системи на межі можливостей. Ці дані мають таку високу наукову цінність, внаслідок реальних викликів:

1. Тестування “граничних режимів” (Stress-Testing). Європейські мережі проєктуються з величезним запасом міцності та працюють у дуже “тихих” режимах. Українські PMU фіксують поведінку системи, коли втрачено понад 9 ГВт генерації за короткий проміжок, а мережа працює з критичними перевантаженнями магістральних ліній. Вчені бачать межу, після якої починається каскадний розпад, що дозволяє уточнити математичні моделі стійкості для всієї Європи.

2. Динаміка “низькоінерційної” системи. Через пошкодження великих теплових та гідроагрегатів, які мають важкі ротори (інерцію), енергосистема України стала “легшою”. Це дозволяє вченим вивчати, як поводитиметься Європа у майбутньому, коли перейде на 100% ВДЕ (сонце та вітер не мають інерції). Дані PMU з України показують, наскільки швидко змінюється частота (ROCOF) у таких умовах і як її втримати.

3. Моніторинг “Inter-area oscillations” (Схід-Захід). Україна — це величезний масив енергії на самому краю європейської синхронної зони. Будь-яке велике коливання в Україні (наприклад, аварійне відключення блоку АЕС) проходить “хвилю” через усю Європу до Португалії. Вчені використовують дані українських PMU як “датчик на краю батога” (sensor on the edge of the whip), щоб зрозуміти, як загасають ці хвилі на відстані 4000 км ENTSO-E News.

4. Верифікація “Black Start” моделей. Блекаут у листопаді 2022 року надав унікальні дані PMU про те, як величезна енергосистема “піднімається з нуля” та синхронізується частинами. Це найрідкісніші дані

у світі. Вони допомагають європейським TSO розробляти плани відновлення на випадок системних катастроф у ЄС.

5. Реакція на кібер-фізичні атаки. Україна є першою країною, де дані WAMS аналізуються в умовах реальних кібератак паралельно з фізичними обстрілами. Для європейських фахівців з кібербезпеки це база для створення алгоритмів AI, які здатні відрізнити цифрову маніпуляцію від реального замикання на лінії. Це робить українську енергосистему не просто “сусідкою”, а повноцінним стабілізаційним ресурсом для всієї Центрально-Східної Європи. Ми не просто споживаємо безпеку від ENTSO-E, ми надаємо дані, які роблять енергосистему всього континенту стійкішою до нових загроз — як воєнних, так і кліматичних.

Україна сьогодні надає іноземним партнерам найбільш цінні дані про роботу моніторингу в екстремальних режимах (“на межі”), що дозволяє ЄС готуватися до подібних криз. Дані WAMS впливають на технічну можливість збільшення лімітів як імпорту електроенергії, так і в майбутньому — забезпечення експорту електроенергії до ЄС.

6. РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ WAMS ТА PMU МПП “АНІГЕР”

Саме WAMS та PMU МПП “АНІГЕР” тривалий час забезпечували моніторинг межі між “Бурштинським островом” з ENTSO-E та основною частиною ОЕС України ще до їх повної синхронізації.

Створені WAMS та PMU МПП “АНІГЕР” забезпечили з 24 лютого 2022 року успішну роботу ОЕС України в ізолюваному режимі, а з 16 березня 2022 року — екстрену синхронізацію української енергосистеми з електроенергетичною мережею континентальної Європи — ENTSO-E. Дані з реєстраторів МПП “АНІГЕР” стали основним матеріалом для аналізу швидкості відновлення напруги та частоти (аналіз “Black Start”) під час аварій та блекаутів у 2022–2026 роках.

Алгоритми WAMS та PMU МПП “АНІГЕР” налаштовані під специфічні перехідні процеси, характерні для довгих ліній 750 кВ, якими володіє Україна.

Зараз впровадження нових версій АНІГЕР фокусується на створенні автоматизованих систем аналізу (ACA). Це означає, що пристрій не просто записує графік блекауту, а за допомогою вбудованих алгоритмів (своєрідного “Smart моніторингу”) миттєво видає диспетчеру причину аварії та місце пошкодження лінії.

В українській WAMS впроваджено алгоритми перехресної верифікації. Якщо один пристрій показує аномальну зміну кута при незмінних потоках потужності, система ідентифікує це як “безосциляційну флуктуацію” (non-oscillation fluctuation) або зовнішнє втручання, запобігаючи хибному спрацюванню протиаварійної автоматики.

При планових ремонтах магістральних ліній WAMS дозволяє диспетчерам контролювати Frequency Instability у локальних районах. Використовуючи параметри RoCoF (Rate of Change of Frequency) (швидкість зміни частоти) від пристроїв FDR, система забезпечує безпечну синхронізацію

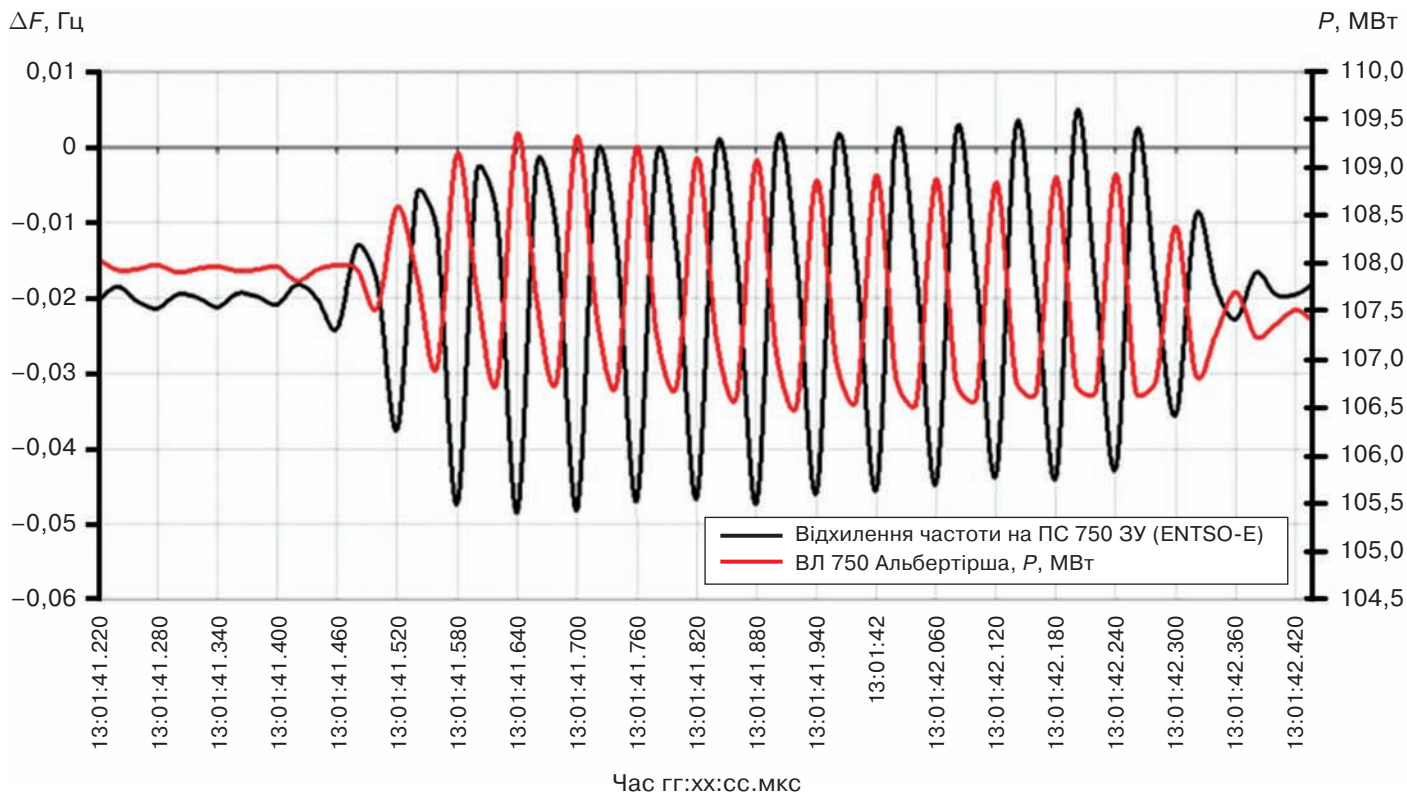


Рис. 1. Характеристика самозбудження міжзональних коливань в ENTSO-E на інтервалі 1,2 с: період коливань $T=0,06$ с; частота коливань $f=16,7$ Гц; максимальна амплітуда коливань $A_{MAX}=0,044$ Гц

“островів” з основною мережею, виключаючи ризик нефазного ввімкнення, яке могло б призвести до руйнування вимикачів. Завдяки українським розробкам АНІГЕР, “Укренерго” має змогу отримувати детальні осцилограми аварій навіть у найважчих умовах обстрілів, що є безцінним для подальшого зміцнення мережі.

Самозбудження міжзональних коливань в ENTSO-E 21.01.2021.

На осцилограмі (рис. 1) зображено самозбудження міжзональних коливань в енергосистемі ENTSO-E, що відбулося 21.01.2021.

Основні характеристики цих коливань на інтервалі 1,2 с наступні:

- період коливань (T): 0,06 с.
- частота коливань (f): 16,7 Гц.
- максимальна амплітуда коливань (A_{MAX}): 0,044 Гц.

По вказаній осцилограмі виконують технічний аналіз низькочастотних коливань в енергосистемі ENTSO-E, зафіксованих системою широкомасштабного моніторингу WAMS у січні 2021 року. Проілюстровано специфічне явище самозбудження енергомережі, наводячи точні фізичні показники виявленої аномалії. Основна увага приділяється параметрам осцилограми, зокрема визначенню періоду та частоти коливань на короткому часовому проміжку. Також на осцилограмі зафіксовано показник максимальної амплітуди, що дає змогу оцінити інтенсивність перехідного процесу. Ця інформація є критично важливою для забезпечення стабільної роботи об’єднаної європейської енергетичної мережі.

Інтеграція даних з установок МПП “АНІГЕР” до загальноєвропейської платформи ENTSO-E — це багаторівневий процес перетворення сирих сигналів

з українських підстанцій у стандартизовані дані, які розуміють диспетчери в Брюсселі чи Варшаві.

7. ЗАСТОСУВАННЯ WAMS В УКРАЇНІ У 2026 РОЦІ ЗАБЕЗПЕЧУЄ ЗНАЧНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ

1. Динамічне управління (Dynamic line rating, DLR) (як технологія реального часу (Real-Time Thermal Rating, RTTR)): замість статичних лімітів навантаження ліній, що розраховувалися на “найгіршу погоду”, WAMS дозволяє завантажувати лінії на 15–25% більше, враховуючи реальне охолодження дрітів вітром. Це дозволяє економити мільярди на будівництві нових ЛЕП;

2. Діагностика вимикачів: аналіз цифрових осцилограм (Oscillography) дозволяє виявляти Breaker Restrikes (повторні пробої) ще на ранній стадії, переходячи до ремонтів за фактичним станом обладнання;

3. Якість енергії: моніторинг вищих гармонік (High Order Harmonics) дає змогу виставляти претензії власникам великих інверторних парків, чие обладнання забруднює мережу та призводить до перегріву трансформаторів НЕК “Укренерго”.

4. Застосування WAMS завдяки точному онлайн-моніторингу кутів фаз на ПК “Мукачево” та ПК “Західноукраїнська”, ENTSO-E змогла поетапно збільшити ліміт імпорту до 2450 МВт у 2026 році. Без WAMS ці ліміти були б на 15–20% нижчими через вимоги безпеки (“консервативні розрахунки”).

Приклад: “Локалізація аварійного розбалансу (січень 2026 р.)”. Під час екстремального зниження температури у січні 2026 року відбулося аварійне відключення одного з автотрансформаторів на ПК 330 кВ “Івано-Франківськ”. Традиційна автоматика

зафіксувала лише просідання напруги, проте WAMS-сенсори виявили різке зростання RoCoF (швидкості зміни частоти) у локальному вузлі. Завдяки даним PMU, диспетчерський центр НЕК “Укренерго” ідентифікував загрозу відокремлення частини Івано-Франківського вузла в некерований “острів” (Islanding). Протиаварійна автоматика за 200 мс скоригувала видачу потужності з ГЕС Дністровського каскаду, що стабілізувало вузол без відключення промислових споживачів регіону.

8. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ WAMS В УКРАЇНІ

Перспективи розвитку WAMS в Україні визначаються за напрямками:

- **автоматичне керування (WAPS):** перехід від простого моніторингу до Wide Area Protection Schemes;
- **інтеграція ВДЕ (ВЕС та СЕС):** PMU будуть використовуватися для демпфування швидких коливань частоти, які виникають через різку зміну хмарності або вітру;
- **цифрові двійники (Digital Twins):** використання даних PMU для уточнення математичних моделей енергосистеми в реальному часі, що дозволить збільшити ліміт імпорту з ЄС з поточних 2450 МВт до 4000+ МВт без будівництва нових ліній;
- **віртуальна інерція (Virtual Inertia):** Україна втрачає традиційні ТЕС (інерцію роторів). Дані PMU дозволять інверторам сонячних та вітрових станцій “імітувати” інерцію. AI зчитує через PMU падіння частоти і дає команду батареям миттєво (за мілісекунди) впровадити потужність у мережу, стабілізуючи її так само ефективно, як це робить 200-тонний ротор турбіни;
- **продаж “даних стійкості” (Data-as-a-Service):** Україна може стати глобальним хабом з кібербезпеки енергомереж. Створення дата-центру з деперсоніфікованими логами PMU реальних блекаут-кейсів. Передбачається, що світові компанії (Siemens, GE, ABB) платитимуть за доступ до цих даних для навчання своїх захисних алгоритмів.

До 2030 року Україна планує завершити розгортання системи, яка охопить 100% критичних вузлів мережі 750 кВ та 330 кВ. Важливим кроком розвитку до 2030 року стане інтеграція WAMS із системами повністю автоматичного диспетчерського керування, де рішення про стабілізацію режиму прийматимуться без участі людини за мілісекунди, що остаточно виключить “людський фактор” із процесів запобігання великим системним аваріям. Для України AI в WAMS — це не просто “інновація”, а **“технологічний цифровий щит”**, який дозволяє енергосистемі виживати в умовах, під які вона ніколи не проєктувалася.

Перспективи Smart моніторингу на базі WAMS та PMU в Україні до 2030 року полягають у переході від пасивного спостереження до повністю автоматизованого інтелектуального керування. Майбутній Smart моніторинг зробить українську мережу **“самозцілюваною” (Self-healing grid)**, де цифрові алгоритми нівелюють наслідки фізичних руйнувань швидше, ніж

вони встигнуть спричинити блекаут. Чітка ієрархія дозволяє зрозуміти, куди саме спрямовувати цифрові інструменти: де потрібні надшвидкі системи (WAMS) для Гігаватів, а де достатньо локального моніторингу для Мегаватів.

Як напрямок розвитку WAMS запропоновано створення системи WAMPAC та використання при їх побудові (як WAMS, так і системи WAMPAC) технологій та блоків вимірювання форми сигналу (Waveform Measurement Units, WMU).

УЗАГАЛЬНЕНІ ВИСНОВКИ

1. WAMS — це “інтелектуальна система” сучасної енергетики, яка дозволяє бачити систему в динаміці, а не через статичні звіти, вона є основою створення “цифрового захисту” ОЕС України. Перехід до цифрового моніторингу на базі WAMS та інтелектуального керування є обов’язковою умовою забезпечення національної безпеки та живучості енергетики України. За кордоном моніторинг (WAMS та PMU) розвивається як інструмент декарбонізації, тоді як в Україні — як інструмент виживання та фізичної стійкості. Україна використовує PMU для захисту від фізичних руйнувань, тоді як Захід — для економічної оптимізації та “зеленого переходу”.

2. Відповідно до розробленої Концепції система WAMS в Україні розгорталася поетапно, фокусуючись на критичних вузлах, де з’єднуються потужна генерація (АЕС) та магістральні мережі, що зв’язують Україну з Європою (ENTSO-E).

3. Система WAMS в Україні наразі є ключовим інструментом для забезпечення стабільності енергосистеми в умовах її повноправного членства в європейській мережі операторів. Розвиток систем WAMS в Україні зараз переходить від етапу “виживання” до етапу “глибокої системної інтеграції та автоматизації”. Досвід України з створення WAMS та PMU сьогодні формує майбутні стандарти енергетичної безпеки світу. Ці дані вже змінили підходи до управління мережами, та перспективи, що відкриваються для України та глобальної енергетики. Фактично ми стали частиною “енергетичного Євросоюзу”.

4. WAMS забезпечила успішну синхронізацію ОЕС України з ENTSO-E, де європейські оператори вимагають високої точності даних. Впровадження WAMS — це обов’язкова умова для стабільної паралельної роботи з ЄС. Використання систем WAMS та PMU стало критичним фактором для виживання української енергосистеми в умовах війни та її інтеграції до ENTSO-E. Створена WAMS та установки МПП “АНІГЕР” є повноцінними первинними датчиками (“очима”) європейської енергосистеми на території України, забезпечуючи прозорість та безпеку спільної роботи електромереж України з мережами ENTSO-E з врахуванням міжнародних стандартів.

5. Впровадження технологій WAMS стало вирішальним фактором у запобіганні системному колапсу після масованих атак 2022–2024 років. Моніторинг у реальному часі забезпечив можливість контрольованого розділення системи на енергоострови, що врятувало основні генеруючі потужності від незворотних пошкоджень. Завдяки тому, що НЕК “Укренерго” впроваджувало WAMS ще до повно-

масштабного вторгнення, вдалося збирати систему до купи за 12–24 години після повних розпадів. Без синхрофазорних вимірювань PMU процес “зшивання” областей тривав би значно довше через ризик повторних аварій при спробах з’єднання.

6. Ситуація 2022 року була першим досвідом, який змусив енергетиків та державу посилити захист енергосистем, зокрема, щодо розширення функціонального застосування WAMS. Системна аварія 31 січня 2026 року — це приклад, коли кібер-алгоритми (WAMS) врятували фізичну цілісність підстанцій, запобігши їхньому перегріву та руйнуванню через коливання частоти. Зокрема, без WAMS та PMU аварія 31 січня 2026 р. гарантовано закінчила-

ся б тотальним блекаутом на кілька діб, як у листопаді 2022 р., а не обмеженнями на кілька годин.

7. Впровадження WAMS в ОЕС України станом на 2026 рік стало фундаментом енергетичної безпеки та технологічної незалежності. Система не просто фіксує аварії, а виступає “штучним інтелектом” мережі, що прогнозує та запобігає катастрофічним сценаріям. Роль систем WAMS та пристроїв PMU у взаємодії енергосистем України та Європи є критичною, оскільки вони виступають як “цифровий запобіжник” для всього континенту. Впровадження WAMS дозволить в майбутньому Україні стати гарантом частотної стабільності для всієї Східної Європи, “інтелектуального донора” Європи.





Х МІЖНАРОДНА
СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА

НАФТОГАЗ ЕКСПО 2026

Місце проведення:
**МІЖНАРОДНИЙ
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР**
Київ, Броварський пр-т, 15
тел.: + 38 (066) 921-47-51
e-mail: sher@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua



**13–15
ЖОВТНЯ**





ПОРТАТИВНИЙ БАГАТОКАНАЛЬНИЙ АНАЛІЗАТОР ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ PQube3 (США)



ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ

- Прилад здійснює моніторинг трифазної, однофазної напруги та розщепленої фази 69-480 L-N, 100-960 В L-L, 50/60/400 Гц. Не вимагає вимірних трансформаторів
- **8 каналів струму** (можливість одним приладом одночасно вимірювати два 3-фазні навантаження. Відпадає необхідність у купівлі 2 приладів)
- Автоконфігурація — автоматичне визначення однофазної і багатofазної напруги, номінальної напруги, номінальної частоти
- Чотири аналогових входи, один цифровий вхід, один релейний вихід
- Додатково підключається модуль ДБЖ з резервним живленням 30 хвилин
- Зберігання даних у внутрішній пам'яті 16 Гб
- Знімна карта пам'яті microSD на 16 Гб і USB-флешка на 8 Гб з кришкою для обмеженого доступу
- Кольоровий сенсорний дисплей можна використовувати в захисних рукавичках
- Жорсткий кейс для перенесення приладу

МОНІТОРИНГ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ Прилад класу А (Ред. 3)

- Сертифікований на **Клас А ІЕС 61000-4-30 Ed 3**
- Високошвидкісна реєстрація даних — 512 показів за період
- Запис відхилень параметрів якості електроенергії з зображенням форми хвилі середньоквадратичного значення
- Провали напруги, перенапруги та відключення, події підвищення частоти або зниження частоти, знімки миттєвих значень
 - КВС напруги, КВС струму; несиметрія напруги та струму; ВАР; ВАР-година; Флікер (Pinst, PST, PLT)
- Гармоніки напруги, струму, інтергармоніки — до 63-й, зі статистикою
- Реєстрація і запис високочастотних імпульсів 1 МГц (до 4 МГц на одному каналі)
- Вимірювання кондуктивних перешкод в діапазоні частот від 2 до 150 кГц
- Розміри приладу: 27×24,6×12,4 см
- Вага: 2,8 кг



ПОКАЗНИКИ ЕНЕРГІЇ (клас точності 0,2s)

- Під замовлення поставляються високострумні трансформатори струму PSL, що відповідають вимогам стандартів ІЕС 62053-22 класу 0.2 та ANSI C12.20 класу 0.2
- Вт, ВА, ВАР, Фактичний коефіцієнт потужності, Вт-години, ВА-години, ВАР-години
- Двонаправлена потужність — отримана і поставлена (облік споживання та генерації)
- Пікові середні значення — за один період, 1 хвилина, 15 хвилин та з обраними користувачем інтервалами
- Підтримка коефіцієнтів ТТ від 1:1 до 1:50000
- Співвідношення коефіцієнта ТН підтримується до 1:10000 (6 900 000) вольт
- Щоденні, щотижневі, щомісячні тренди, криві тривалості навантажень
- Додатково 2 датчика температури і вологості, атмосферного тиску, вібрації, прискорення
- Два порти для датчика сонячного випромінювання (Вт/м²), термопари типу К і т.д.

НЕ ПОТРІБНЕ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

- Файли графіків і таблиць знімаються з самого пристрою PQube3
 - Прилад працює як самостійно, так і в системі режиму реального часу
 - Може працювати без каналів зв'язку. PQube3 зчитує усі дані з SD карти, як цифровий фотоапарат
- Віддалений доступ до вбудованого веб-сервера
- Доступ до файлів даних через FTP
- Вбудований порт Ethernet
- Як опція Wi-Fi
- 2 порти USB 1.0, 1 порт USB 2.0 для передачі даних на флеш-накопичувач
- Лічильники реального часу з Modbus-TCP і SNMP (v2 і v3) NTP і SNTP для синхронізації
- Безпечний зашифрований зв'язок з HTTPS
- МЭК 61850

НАКОПИЧЕНІ ПАРАМЕТРИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДОЗВОЛЯЮТЬ

- Розробити заходи по оптимізації роботи системи енергопостачання
- Визначити джерело, яке створює перешкоди в електромережі
- Визначити похибки обліку електроенергії, яка залежить від якості електроенергії

В якості опції **PQube3** може працювати як **мікросинхрофазометр для попередження появи кібератаки на енергосистему**.

Прилади "**PQube3**" успішно використовуються на об'єктах: **Київенерго, Нафтогаз, Канбуд, Лінде-Газ, Укрпластик, Дніпро-Азот, Національний університет "Львівська Політехніка"** та ін.

Консультації за адресою:

E-mail: powertessa@gmail.com

Тел.: +380 98 054 61 87





ПОСЛУГИ З ВИСОКОТОЧНОГО КОНТРОЛЮ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА КАЛІБРУВАННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ

Пропонуємо унікальну послугу — **вимірювання метрологічних характеристик та оцінка працездатності засобів вимірювальної техніки (приладів)** за допомогою попереднього експертного аналізу наявних засобів обліку (реєстрації) та засобів контролю параметрів якості електроенергії підприємства на відповідність заявленим виробником параметрам, вимогам міжнародних договорів, державних стандартів, норм ДБН, ДСТУ, ПУЕ, EN, IEC.

Таке рішення значно дешевше, ніж перевірка застарілих засобів з невідомим результатом щодо придатності до подальшої експлуатації та, ймовірно, подальшою закупівлею нових засобів.

Це можливість заздалегідь визначитися перед перевіркою засобів обліку (реєстрації) та засобів контролю параметрів якості електроенергії в уповноваженій повірочній лабораторії ІЕД.

За результатами видається протокол вимірювань за підписом начальника лабораторії ІЕД.

- Мінімальна партія приладів для перевірки — від 5 шт. 3-фазних.
- Ціну наведено у гривнях без ПДВ, де n — кількість параметрів.

1. Аналізатор мережі в частині вимірювання показників якості електричної енергії (2 600 + 2 900* n грн)
2. Калібратор показників якості електричної енергії (1 400 + 6 400* n грн)
3. Лічильник електричної енергії 3-фазний (1 100 + 3 200* n грн)

В лабораторії ІЕД НАН України використовується промислове високоточне обладнання:

1. Прецизійний еталон-калібратор електричної потужності FLUKE 6130A
2. Допоміжний еталон-калібратор Fluke 6101A
3. Частотомір FLUKE PM 6690/062

Діапазон випробувальних сигналів з еталонів дозволяє подавати на вхід засобів обліку та засобів контролю параметрів якості електроенергії відповідне значення вхідного сигналу з необхідною точністю та отримувати достовірне значення метрологічної характеристики.

Наприклад **еталон-калібратор Fluke 6101A** — це прецизійний (високоточний) прилад, що використовується для калібрування вимірювальних пристроїв, які застосовуються для визначення параметрів якості електроенергії. Прилад дозволяє відтворювати джерела електроенергії з нестандартними характеристиками, в яких мають місце такі явища як: гармоніки напруги, проміжні гармоніки, гармоніки, що коливаються, пульсації, падіння та підвищення напруги.

Для визначення метрологічної характеристики відхилень частоти використовуємо як джерело стабільної по частоті напруги калібратор FLUKE 6101A, як еталонний прилад для вимірювання частоти з точністю в межах $\pm 0,02$ Гц застосовується частотомір FLUKE PM 6690/062.

Нижче довідково наведені основні технічні характеристики еталона-калібратора Fluke 6101A.

1. Технічні дані:

- Роздільна здатність установки амплітуди напруги/струму 6 розрядів;
- Діапазон частот основної гармоніки від 16 Гц до 450 Гц;
- Захоплення частоти від 45 Гц до 66 Гц за вибором користувача;
- Точність відтворення частоти 50 ppm;
- Роздільна здатність: установки частоти 0,1 Гц, а установки фазового кута 0,001°;
- Максимальна кількість гармонік напруги або струму — 100, з першою (частота основної гармоніки).

2. Номінальні значення діапазонів напруг та струмів:

- Повний діапазон 16/33/78/168/336/1008 В.
- Повний діапазон 0,25/0,5/1,8/2,0/5,0/10,0 А.

ВИСОКОТОЧНИЙ НАБІР ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ РЕЛЕ ТА УНІВЕРСАЛЬНИЙ КАЛІБРАТОР CMC 256PLUS

CMC 256plus — це відмінне рішення для застосувань, що вимагають надвисокої точності.

Пристрій є не лише випробувальним набором для пристроїв РЗА усіх типів, але й універсальним сучасним інструментом калібрування різноманітного вимірювального обладнання.

Його висока точність дозволяє проводити тестування та калібрування широкого спектра вимірювальних приладів, включаючи: прилади для вимірювання якості електроенергії (PQ) класу A та S, лічильники енергії класу 0.2 та нижче, вимірювальні перетворювачі та блоки вимірювання векторів (PMU).

Така унікальна точність та гнучкість роблять CMC 256plus ідеальним для виробників РЗА та вимірювального обладнання для досліджень та розробок, виробництва та типових випробувань.

Шість каналів струмового виходу та чотири канали напруги **CMC 256plus** мають плавне та незалежне регулювання амплітуди, фази та частоти. Усі виходи захищені.

Інтегрований мережевий інтерфейс підтримує комплексне тестування в середовищах **IEC 61850** за допомогою додаткового моделювання та підписки GOOSE, а також функції моделювання SV. Також можливо отримувати, оцінювати та реєструвати зв'язок клієнт/сервер IED SCADA відповідно до **IEC 61850**.

На випробувальному комплекті доступно до 12 незалежних каналів низькорівневих сигналів, які можна використовувати для тестування реле з нетрадиційними входами датчиків (наприклад, котушки Роговського) або для керування зовнішніми підсилювачами.

CMC 256plus розроблено для роботи з найпопулярнішими програмними інструментами **OMICRON**. Користувачі можуть керувати випробувальним набором за допомогою ПК/ноутбука або планшета та підключатися через кабель Ethernet/USB або Wi-Fi (через додатковий міні-адаптер бездротового USB).

Синхронізація часу відповідно до **IEEE 1588** можлива, наприклад, через **CMGPS 588**. GPS-керований годинник часу з вбудованою антеною працює як головний годинник протоколу точного часу (PTP) та оптимізований для використання на відкритому повітрі.

Основні особливості:

- установка для перевірки РЗА та універсальний калібратор в одному пристрої;
- тестування всіх поколінь реле: електромеханічних, електронних, цифрових, IEC 61850;
- високоточні тестові сигнали: для тестування лічильників (джерела є еталонними — додаткових еталонних лічильників не потрібно);
- Інтегрована мережа для тестування **IED IEC 61850**;
- 10-канальні аналогові вимірювання та функція запису перехідних процесів.

Наведене обладнання — це лише невелика частина можливостей **Інституту електродинаміки НАН України** для вирішення інженерних та науково-технічних завдань відповідно до сучасних нормативних вимог.

Детальна інформація про можливості та обладнання надсилається за запитом.



За додатковою інформацією звертатися до Інституту електродинаміки НАН України — <https://ied.org.ua>

Слинько Володимир Мефодійович, sl.vladimir2015@gmail.com, svm@ied.org.ua

м. Київ, 03057, Проспект Берестейський, 56,

Тел.: +38 044 366 25 63, +38 050 380 51 71, +38 066 350 83 89

В.М. Слинько,
канд. техн. наук

О.В. Сподинський

Regina®

ПРИСТРІЙ СИНХРОНІЗОВАНИХ ВЕКТОРНИХ ВИМІРЮВАНЬ (PMU) “РЕГІНА-Ч”

Важливою складовою сучасного інтелектуального (цифрового) моніторингу і оцінки допустимості поточних режимів ОЕС України є оцінка величини взаємних кутів векторів напруги в міжсистемних зв'язках її перетинів. Завдяки впровадженню засобів та систем моніторингу з'являється можливість більш точно оцінювати і враховувати при веденні режимів вплив величин взаємних кутів на пропускну спроможність контрольованих електричних перетинів в ОЕС України.

Синхронізовані виміри векторів напруги в контрольованих перетинах — це новітня технологія, яка дозволяє вимірювати вектори напруг і струмів (модулі і фази) в будь-якій точці електроенергетичної системи, забезпечувати їх міткою астрономічного часу і по швидкодіючим каналам передавати у будь-яку іншу точку системи (рис. 1). Зіставляючи отримані дані з однойменними векторами, зафіксованими для того ж моменту часу на іншому об'єкті, ми отримуємо реальні значення кута контрольованого параметра між цими об'єктами.

Широке використання синхрофазорів стало можливим лише завдяки розвитку сучасних методів цифрової обробки сигналів. Також важливим є питання синхронізації даних у часі, оскільки для забезпечення точності синхрофазорів необхідно мати високоточні системи синхронізації, такі як GPS (Global Positioning System).

Основні величини, які вимірюються за допомогою синхрофазорів, включають фазовий кут, амплітуду та частоту сигналу.

Можливість синхронізувати виміри струмів і напруги в будь-яких точках енергосистеми, що отримують з похибкою не більше 0,2 % і похибкою синхронізації не більше 1 мкс, відкриває необмежені можливості для моніторингу режимів енергосистеми і енергооб'єднань та використання цієї передової технології для оперативного ведення режиму і в подальшому протиаварійного керування, що й реалізується в розроблених в Інституті електродинаміки НАН України сучасних пристроях PMU “Регіна-Ч”.

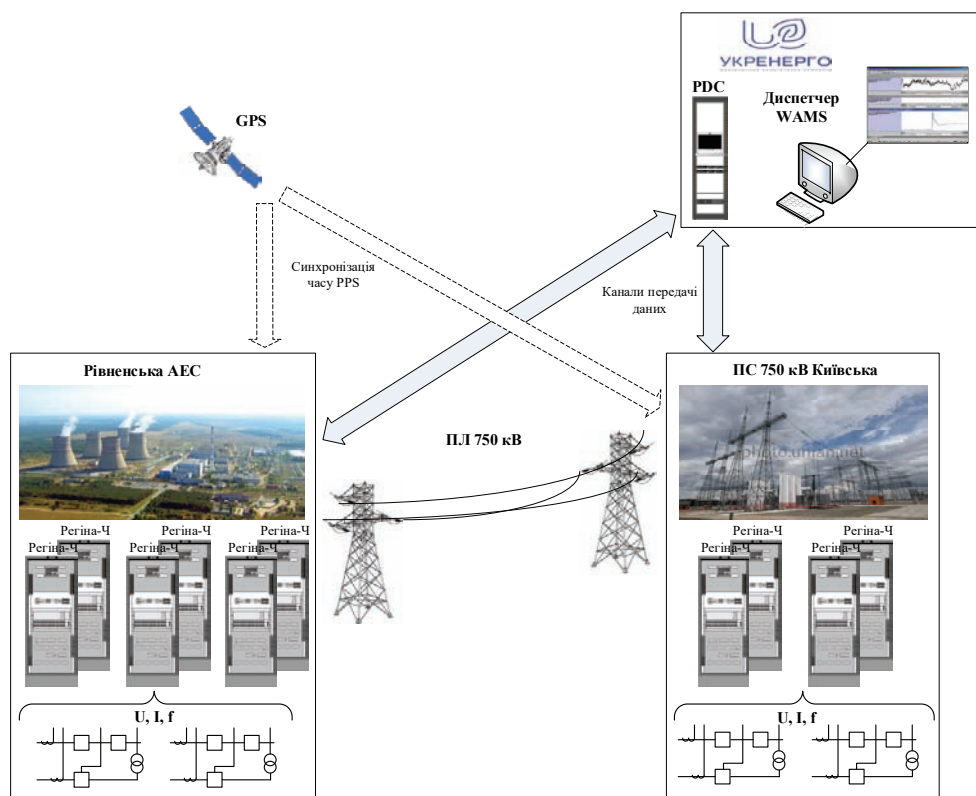


Рис. 1. Принципова схема синхронізованих векторних вимірювань





а



б

Рис. 2. PMU “Регіна-4”: **а** — зовнішній вигляд PMU “Регіна-4”; **б** — PMU “Регіна-4” у шафі в зборі з монітором візуалізації даних

Слід зазначити, що, знаючи напругу всіх вузлів енергосистеми (модуль та кут), можна визначити будь-які інші параметри усталеного режиму, зокрема, активну потужність та частоту. Оцінка електричних зв'язків в контрольованих перетинах ЛЕП, де взаємні кути між векторами напруги на початку і в кінці ЛЕП, є досить інформативними в аспекті визначення допустимості завантаження кожної, окремо взятої ЛЕП.

На **рис. 2** наведено загальний вигляд PMU “Регіна-4”.

Призначення розроблених пристроїв PMU “Регіна-4”:

- моніторинг в реальному часі режимних параметрів роботи електроенергетичних систем, стійкості, коливань, поточних значень кутів та частоти, режимів роботи основних механізмів ТЕС, ГЕС, АЕС, в тому числі ГЦН, при пуску, роботі та гальмуванні агрегатів, стану засобів регулювання напруги;
- вимірювання сили, напруги, потужності, фази та частоти змінного струму;
- автоматична реєстрація ненормальних режимів роботи;

- зберігання в пам'яті результатів вимірювання;
- програмна обробка вимірювальної інформації, а також передачі її на будь-які рівні з прив'язкою до сигналів точного часу, які отримують від GPS приймача.

Технічні характеристики розробленої PMU “Регіна-4” наведені в **табл. 1**.

Критерії запису аварійної інформації PMU “Регіна-4” до архіву:

- швидкість зміни частоти фазної напруги перевищує уставку із діапазону $0,001 \div 2$ Гц/с з кроком $0,001$ Гц/с;
- діюче значення будь-якої з фазних напруг виходить за межі уставки в діапазоні до 200 %.

Тривалість архівних записів:

- час запису параметрів до аварійного режиму — 100 с;
- аварійний процес — до 1000 с;
- не менш 100 записів аварійного процесу;
- безперервний запис протягом 360 год. в режимі самописця (циклічний архів).

Вид і кількість параметрів, що записуються до архіву, налаштовуються файлом конфігурації.

Таблиця 1. Технічні характеристики PMU “Регіна-4”

Характеристика	Значення
Кількість аналогових входів	До 32-х
Кількість вхідних дискретних сигналів	До 224-х
Діапазон вхідних сигналів від ТС (діючі значення)	$0,25 \div 10$ А при $I_n = 5$ А
	$0,02 \div 2$ А при $I_n = 1$ А
Діапазон вхідних сигналів від ТН (діючі значення)	$1 \div 200$ В
Межі допустимої абсолютної похибки при вимірюванні кута зсуву фаз	$0,1^\circ$
Межі допустимої абсолютної похибки синхронізації часу системи “Регіна-4”	± 1 мкс
Межі допустимої абсолютної похибки вимірювання частоти	$\pm 0,001$ Гц
	на періоді сигналу частотою 50 Гц
Клас точності системи “Регіна-4” при вимірюванні	сили струму й напруги змінного струму — 0,2
	активної й реактивної потужностей — 0,5

Таблиця 2. Співставлення технічних характеристик PMU “Регіна-Ч” з аналогічними закордонними пристроями

№ п/п	Назва	Кількість контрольованих приєднань	Похибка визначення частоти, Гц	Похибка визначення кута напруги, град	Похибка синхронізації часу, мкс	Похибка визначення діючого значення напруги, %	Похибка визначення діючого значення струму, %
1	Регіна-Ч (Україна)	5	0,0008	0,08	4*	0,2	0,2
2	BEN6000 (США)	1	–	0,05	40	0,1	0,2
3	SEL 487 (США)	1	0,005	0,125	10	0,1	1,0
4	RES 670 (Швеція)	2	0,005	0,1	1	0,1	0,1

Примітка Атестація PMU “Регіна-Ч” на меншу похибку синхронізації в ДП “Укрметртестстандарт” (м. Київ) неможлива, внаслідок відсутності відповідного еталонного обладнання.

PMU “Регіна-Ч” обладнана апаратурою для передачі вимірюваних та розрахованих значень по виділеному чи комутованому каналу зв’язку. Всі вимірювання та розраховані значення передаються за запитом або в реальному часі за міжнародними протоколами IEC 60870-5-104 та IEEE C37.118.

Пристрій PMU “Регіна-Ч” пройшов державні контрольні випробування в ДП “Укрметртестстандарт” і включений у Державний реєстр засобів вимірювальної техніки України.

Розроблені в Україні PMU “Регіна-Ч” є повністю технологічно сумісними з аналогічними системами країн ЄС, забезпечуючи систематичний моніторинг в лініях передачі електроенергії та можливість підвищення рівня цифровізації загальноєвропейської системи моніторингу та регулювання, покращуючи їх керованість та спостережуваність. Світовий рівень розробки PMU “Регіна-Ч” підтверджується співставленням технічних характеристик PMU “Регіна-Ч” з аналогічними закордонними пристроями (див. **табл. 2**).

При встановленні PMU “Регіна-Ч” необхідно є розвинена комунікаційна мережа. Мережа власних (Міненерго України) та орендованих каналів зв’язку спроможні забезпечити передачу інформації від більшості потенційних об’єктів установки PMU “Регіна-Ч” до центрів керування в режимі “off-line”, але за своїми швидкісними характеристиками (за винятком волоконно-оптичних каналів) не може, в окремих випадках, задовольняти при роботі системи в режимі “on-line”. Існуюча мережа волоконно-оптичних каналів не забезпечує зв’язок багатьох потенційних місць установки PMU “Регіна-Ч” з Диспетчерським Центром НЕК “Укренерго”, а спорудження нових швидкодійних каналів від всіх встановлюваних PMU “Регіна-Ч” до ДЦ НЕК “Укренерго” вимагає великих обсягів робіт і великих інвестицій. З метою мінімізації

витрат і зменшення обсягів робіт доцільно виконувати зв’язок об’єктів установки PMU “Регіна-Ч” не з ДЦ НЕК “Укренерго”, а з регіональними енергосистемами, в мережах яких знаходяться ці об’єкти, а від ДЦ енергосистем до ДЦ НЕК “Укренерго” передавати всю інформацію загальним каналом.

Автоматична передача інформації файлів аварійної інформації від “Регіна-Ч” на рівень ДЦ НЕК “Укренерго” здійснюється безпосередньо відразу після формування автоматичних або оперативних аварійних файлів в базі аварійних файлів. Автоматична обробка отриманої на ДЦ НЕК “Укренерго” аварійної інформації, формування загального файлу з п’яти об’єктів.

Застосування синхрофазорів в енергосистемах дозволяє проводити моніторинг частоти, амплітуди та фази сигналу з високою точністю. Однак, коректне визначення синхрофазора потребує попередньої фільтрації сигналів для видалення гармонік та шумів. Іншим важливим аспектом є корекція амплітудно-частотних характеристик, які впливають на точність вимірювань.

Дані PMU “Регіна-Ч” широко використовуються в Україні для ситуаційної обізнаності, аналізу подій та моніторингу стабільності системи.

Всього на об’єктах електрогенерації та магістральних електричних мережах НЕК “Укренерго” впроваджено 30 PMU “Регіна-Ч”, які стали основою побудови першої черги WAMS України в Кримській енергетичній системі, як і розвитку WAMS в Україні. Так, PMU “Регіна-Ч” розміщені, зокрема, на основних підстанціях 750 кВ, 400 кВ та АЕС, які відіграли критичну роль при синхронізації ОЕС України та ENTSO-E у 2022 р.: ПС 750 кВ “Західноукраїнська”; ПС 750 кВ “Вінницька”; ПС 750 кВ “Київська”; ПС 400 кВ “Мукачеве”; Хмельницька АЕС; Рівненська АЕС.

Regina®

V МІЖНАРОДНА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА

E-Comps + DigiTec

13–15 жовтня 2026



Місце проведення:
МВЦ, м. Київ,
Броварський пр-т, 15,
станція метро «Лівобережна»



Контакти:

+38 (095) 268-05-84



lyudmila@iec-expo.com.ua



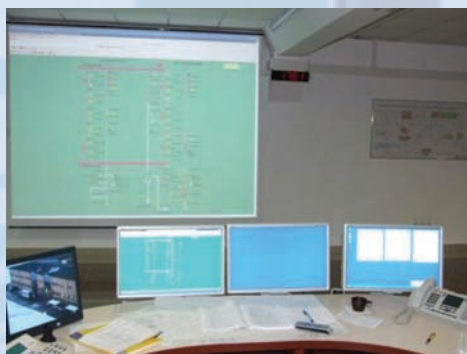
www.iec-expo.com.ua



ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОТИАВАРІЙНОЇ АВТОМАТИКИ: ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

ШАНОВНІ КОЛЕГИ!

Ми займаємося розробкою та впровадженням комплексів Протиаварійної автоматики (ПА) — критично важливого компонента для забезпечення стійкості сучасної енергосистеми. ПА — це комплекс спеціалізованих технічних засобів та систем керування, призначених для запобігання розвитку масштабних аварій в об'єднаній енергосистемі. Наша ключова місія полягає в забезпеченні стабільної роботи системи та мінімізації наслідків аварійних ситуацій. Основною, невідкладною метою ПА є не допустити порушення стійкості енергосистеми та запобігти системним знеструмленням (блекаутам) шляхом швидкої автоматичної зміни режиму роботи системи одразу після виникнення аварій.



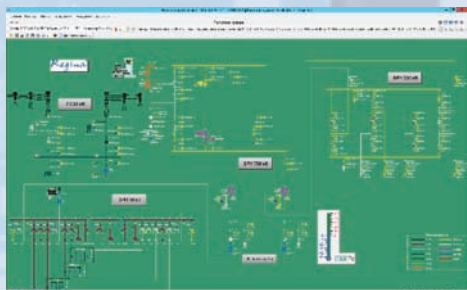
1 ОСНОВНІ ЦІЛІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПЕРЕВАГИ

Створення та модернізація комплексів ПА має низку фундаментальних цілей, які прямо впливають на операційну ефективність та безпеку. Наші розробки спрямовані на **підвищення надійності та ефективності роботи енергосистеми**. Окрім того, функціонування ПА підвищує **довговічність та ступінь експлуатаційної надійності обладнання**. Важливим економічним аспектом є зменшення збитків, які можуть виникнути внаслідок помилок персоналу.

Ми також закладаємо у ПА потужні інформаційні функції:

1. Оперативна Достовірність: Своєчасне надання оперативному персоналу **достовірної інформації в режимі плинного часу** про хід технологічного процесу, поточний стан контрольованого енергорайону та самого комплексу ПА.

2. Аналітична Підтримка: Забезпечення персоналу **ретроспективною технологічною інформацією** (реєстрація подій, розрахунок показників) для глибокого аналізу, подальшої оптимізації та планування роботи енергорайону, а також його ремонту. Система моніторингу виконує реєстрацію параметрів режимів, аналіз аварійних ситуацій, побудову добових графіків та гармонічний аналіз.



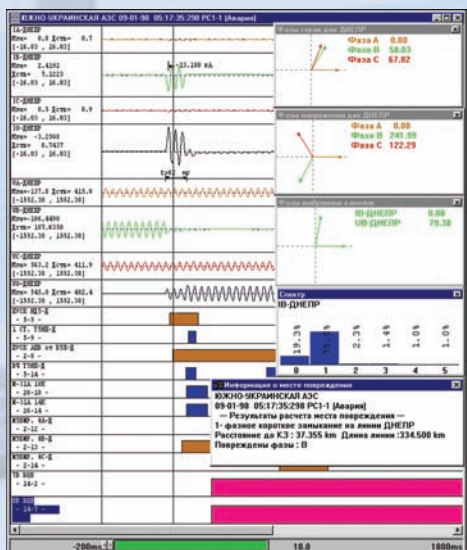
2 ТЕХНІЧНА АРХІТЕКТУРА КОМПЛЕКСУ ПА

ПА структурно складається з двох ключових підсистем, кожна з яких виконує свій унікальний набір функцій протиаварійного керування:

1. Автоматика обмеження зниження напруги (АОЗН): Забезпечує послідовне обмеження навантаження у разі виникнення небезпечного зниження напруги на шинах підстанції.

2. Автоматика обмеження перевантаження обладнання (АОПО): Спрацьовує при перевантаженні автотрансформаторів, при цьому враховуючи напрямок перетоку активної потужності.

Фізична реалізація комплексу ПА передбачає використання центрального комплекту та периферійних комплектів, що розміщуються на ключових підстанціях. Усі об'єкти обладнуються спеціалізованими шафами – АОЗН/АОПО та моніторингу. Ці шафи містять **мікропроцесорні пристрої**, модулі вводу/виводу



аналогових і дискретних сигналів та елементи для аналізу і передачі інформації. Критично важливим є те, що дані, отримані з первинних перетворювачів, автоматично обробляються, перетворюються у цифровий формат і застосовуються для генерації команд керування без втручання диспетчера.

3 ВИМОГИ ДО МОДЕЛЮВАННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОТИАВАРІЙНОГО КЕРУВАННЯ

Впровадження ефективного комплексу ПА вимагає розробки якісної проектно-кошторисної документації та проведення точних розрахунків. Однією з найважливіших вимог до нашої роботи є **актуалізація моделі мережі енергосистеми**, яка має ґрунтуватися на фактичних даних щодо навантажень, виміряних у відповідні режимні дні.

Розрахункова модель, яку ми створюємо, повинна бути вичерпною та включати:

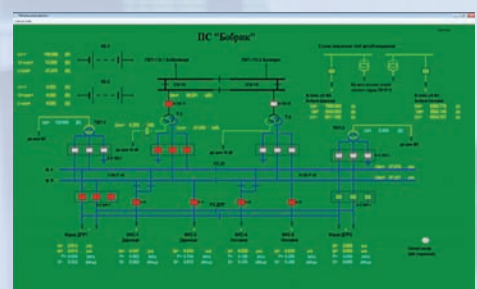
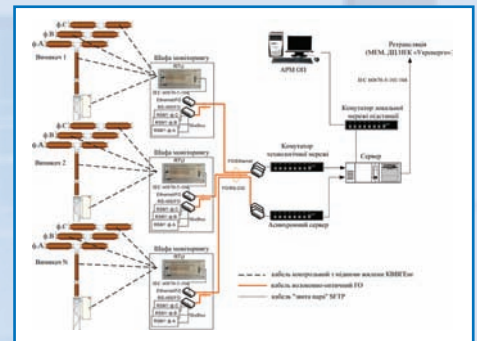
- Поточну модель електричних мереж.
- Моделі електростанцій та компенсуючих пристроїв, зокрема тих, що встановлені на підстанціях регіону.
- Моделі навантаження, які враховують **сезонні зміни** (режими максимуму та мінімуму навантаження) та допустимі рівні напруги.
- Моделі **BEC** та **CEC** (діючих та перспективних, згідно з виданими технічними умовами). Важливо, що ми враховуємо їхні технологічні обмеження працездатності, залежні від рівнів напруги та навантажень електричних мереж.

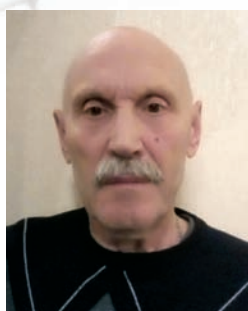
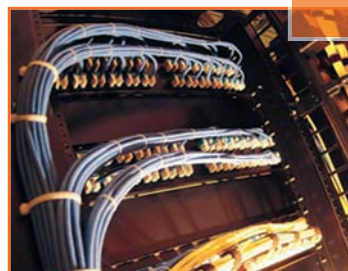
На підставі комплексного моделювання аварійних режимів ми формуємо рекомендації щодо **удосконалення проти-аварійного керування**. Під цим ми розуміємо розробку та режимне обґрунтування можливих заходів, спрямованих на **забезпечення допустимих рівнів напруги та недопущення перевантаження обладнання та розвитку аварій**.

У процесі проектування локального комплексу ПА необхідно визначити **необхідність змін алгоритмів дії та уставок ПА в залежності від пори року**. Моделювання дозволяє сформувати групи керуючих дій, таких як САВН, поділ мережі на фрагменти чи відключення об'єктів ВДЕ, та визначити факти спрацювання ПА і алгоритм дозування керуючих дій. За потреби, ми надаємо пропозиції щодо встановлення нових спеціальних джерел дії (СДА), включаючи місця їх розташування та уставки, та проводимо моделювання цих нових пристроїв з урахуванням запропонованих уставок за струмом та часом.

4 ВИСНОВОК

4 Впровадження та постійне удосконалення Протиаварійної автоматики є необхідною умовою для безпечної та ефективної експлуатації сучасної енергосистеми. Наш комплексний підхід, що включає ретельне моделювання та автоматизоване керування, гарантує високий рівень надійності та захист від системних аварій.





В.П. Михайлов,
директор
ТОВ "ТЕССА"



Надійшло
Received 19.05.2026

СУЧАСНІ РІШЕННЯ ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ СПОЖИВАЧІВ ВІД КОМПАНІЇ OMNIVERTER

У сучасному промисловому секторі стабільність електропостачання є критично важливою умовою для забезпечення безперервності виробництва. Зростання кількості динамічних навантажень та аварійних збоїв у мережах (наприклад, через роботу АПВ та реклоузерів під час грози, падіння гілок, аварійні комутації чи перекомутації мереж) вимагає впровадження високонадійного обладнання.

У цьому матеріалі запропоновано огляд інноваційних рішень для захисту підприємств від короточасних вимкнень електроенергії та глибоких просідань напруги. Компанія ТЕССА, як постачальник передового обладнання, підготувала цю добірку технічних матеріалів і запрошує ознайомитися з інформаційними проспектами виробника. У них наведено детальний аналіз переваг та технічних особливостей промислової системи кондиціювання напруги та безперебійного живлення **AVC_{RTS}** від компанії **Omniverter**.

ЧОМУ **AVC_{RTS}** Є НАЙКРАЩИМ ВАРИАНТОМ ДЛЯ КОРОТКОЧАСНОГО ЗАХИСТУ ВІД ВІДКЛЮЧЕНЬ?

Система **AVC_{RTS}** розроблена спеціально для важких умов промислової експлуатації. Вона ефективно справляється з високими пусковими струмами, значним рівнем гармонійних спотворень та динамічними навантаженнями з рекуперативним зворотнім живленням, які зазвичай виводять з ладу або змушують переходити в байпас стандартні комерційні ДБЖ. **Типові фактори, що знижують надійність звичайних ДБЖ, та їх вирішення в **AVC_{RTS}**:**

- **Пускові струми.** Високі пускові струми спричиняють перевантаження, змушуючи стандартну систему ДБЖ переходити в байпас. **AVC_{RTS}** використовує компоненти та спеціалізовані інвертори збільшеної потужності, які легко справляються з такими піковими навантаженнями.
- **Гармонійні спотворення.** Гармонійні спотворення від нелінійних навантажень створюють надмірне теплове навантаження, скорочуючи термін служби звичайних промислових ДБЖ. **AVC_{RTS}** менше піддається перегріву, оскільки гармонічні струми спрямовуються назад до електромережі, а не проходять через інвертор.
- **Рекуперація енергії.** Системи ДБЖ з подвійним перетворенням не пропускають рекуперативний струм через випрямляч, що збільшує напругу на шині постійного струму при зворотному струмі. Це призводить до відмови більшості сучасних промислових ДБЖ, аварії або скидання навантаження. Паралельна топологія з'єднання **AVC_{RTS}** забезпечує 100% рекуперацію потужності.
- **Резервування N+1.** **AVC_{RTS}** має резервні інверторні модулі за схемою N+1, які підтримують 100% навантаження без збільшення фізичного розміру блоку. Аналогічне резервування N+1 зі звичайними ДБЖ Tier III/IV вимагає вдвічі більше площі, оскільки виникає потреба купувати другу таку саму шафу.

ACTIVE VOLTAGE CONDITIONER

AVC_{RTS}



Active Voltage Conditioning

including blackout ride through for applications up to 15kV



Key Features

- Up to 30 seconds of ride through (Max 15 minutes)
- 99.5% efficient
- No reduction of fault capacity
- Isolates line from DC source
- Extensive diagnostics
- Voltage event log
- Separate coupling transformer
- Universal DC interface accepts all types of storage systems
- MV Units also correct power factor

Description

The Active Voltage Conditioner (AVC) is an inverter based system that provides voltage sag and blackout protection.

The AVC is a flexible device that can be used in multiple applications.

The AVC_{RTS} can be configured with and without on-line voltage regulation capabilities to match the application requirements. It is available for low voltage equipment.

The AVC_{RTS} will provide outage protection with customer choice of storage, while operating in an off-line mode. The outage protection time can be extended up to 15 minutes as an option. The voltage transfer threshold of the equipment is user programmable and can be adjusted to the sensitivity of the load.

When combined with the optional regulation module (AVC₂), the AVC_{RTS} can be used for continuous voltage regulation, voltage balancing, flicker reduction and sag mitigation or peak shaving, wind farm storage, pulse power and voltage sag protection.

Benefits AVC topology

- Industrial design, rugged
- Small foot print
- Continuous smooth compensation
- Sub-cyclic response
- Fast & easily controlled current contribution

Applications

- High Value production
- High Speed manufacturing
- Continuous processes
- Critical loads
- Uninterruptible Diesel generator transfer
- Protection from momentaries



tame your power—keep your profits

Electrical Specifications: AVC_{RTS}

Description

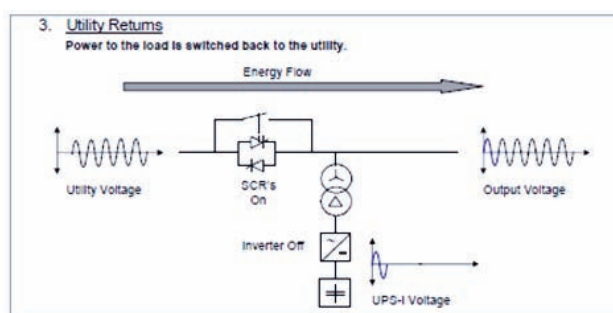
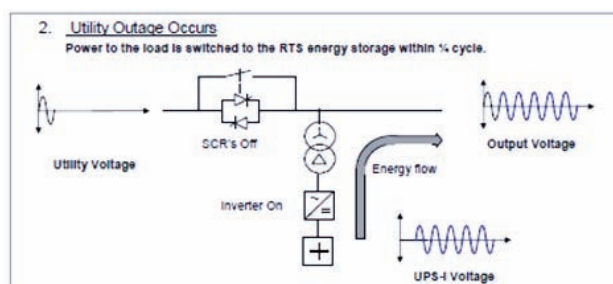
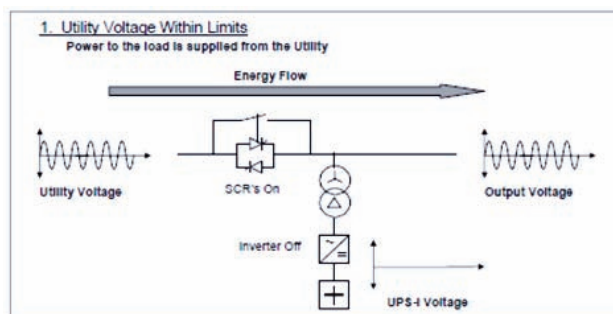
The AVC_{RTS} is an enhanced version of the Active Voltage Conditioner (AVC) product. The AVC_{RTS} uses energy storage to allow the system to ride through momentary outages of up to 30 seconds duration as standard. The ride through time will be dependent on the unit loading and the capacity of the storage system connected which can be batteries, super-capacitors or a flywheel system.

The AVC_{RTS} can be used as a stand alone system where precise voltage regulation is not needed. During normal operation the static switch is closed and power flows from a utility source. Should the utility supply fail or the input voltage drop below the voltage sag threshold (typically 90% of nominal) the static switch will be opened and energy for the critical load supplied from the storage system. When the utility supply resumes a steady state the AVC_{RTS} will recognize this, will synchronize the load with the supply and close the static switch so utility supply is restored.

If a standby generator is available then once this starts the AVC_{RTS} will recognize this as a steady source, will synchronize the load with the generator and close the static switch so that the generator runs the load. Once the utility supply has returned, and there is an open transition between utility and generator, the AVC_{RTS} will see this as a short term interruption, will open the static switch, support the load from the storage then will synchronize with the utility feed and close the static switch restoring utility power to the load.

The operation of the system is specifically designed to meet the demanding requirements of industrial load protection where the following features are particularly important:

- Extremely high electrical efficiency meaning much lower ongoing cost of ownership than traditional UPS solutions and much less heat needs to be removed from the room in which the AVC is located.
- High levels of fault clearing capacity (typically 20 time's current short term) to allow for the discrimination of protection systems.
- Ability to cope with industrial loads such as motor drives which are high in harmonic draw, large starting inrush and also loads that may regenerate power.



AVC_{RTS} with AVC₂ combination

If precise voltage regulation is required as well as protection against short term outages then an AVC₂ can be provided on the line side of the AVC_{RTS} i.e. upstream of the AVC_{RTS} static switch

The AVC₂ will provide the voltage regulation and if there is a very deep voltage sag or short term loss of power, so the AVC₂ output falls below 90% of nominal voltage the AVC_{RTS} will open the static switch and supply the load. Once the utility is restored the AVC_{RTS} will synchronize the load and close the static switch restoring utility supply to the load.

AVC_{RTS}

Load Capacity

Capacity 30kVA – 3,000kVA (LV) , larger models as custom design, ≤25MVA @ 15kV

Displacement Power Factor of connected load 0.1 lagging to 0.9 leading

System efficiency >99% at loads > 25% nominal

Input Supply

Nominal Supply Voltage (according to model)
480V, 600V, 60Hz
400V 50 Hz (380/400/415V)
208V 50/60Hz
Option 5kV and 15kV

Power system type 3 phase + center ground referenced
Supply voltage category Level III transient voltage capability

Output Supply

Nominal output Voltage (V) set to match nominal supply voltage

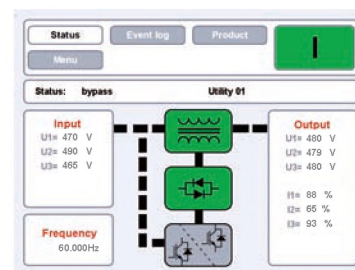
Equivalent series impedance (bypass) <1% with standard AVC_{RTS}

STORAGE

Maximum Float Voltage 750 VDC
Charger to suit storage system
Autonomy storage system dependent up to 15 minutes

INTERFACE

Access protocol Ethernet connectivity; ModBus TCP and RTU,
dry contacts



Front Panel Display



Modular Design Max
30 minute MTTR



tame your power—keep your profits



AVC_{RTS}

ENVIRONMENTAL

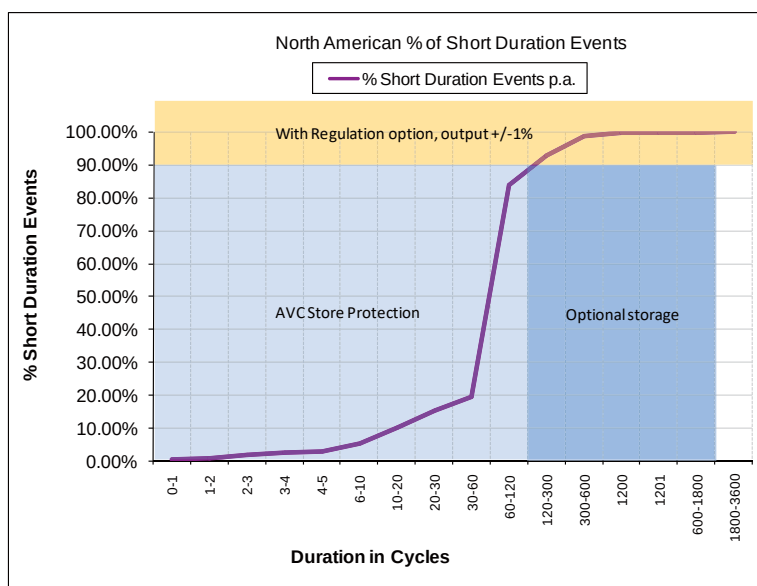
Enclosure environmental rating	NEMA 1, IP20 (Others available as custom)
Pollution degree rating	2
Minimum operating temperature	0 °C
Maximum operating temperature	40 °C
Temperature de-rating	above 40 °C de-rate at 2% per °C to a maximum of 50 °C
Capacity de-rating with elevation	-1.2% every 100m above 1000m
Cooling	- Inverter - transformer
Humidity	forced ventilation fan assisted ventilation
EMC emissions	< 95%, non-condensing
Noise	CISPR 22 level G 65dBA

Standards

Designed to :

UL /CSA
EN50178
C-Tick
CISPR22

All specifications are subject to change without notice.



ТОВ "ТЕССА"

Україна, м. Харків, 61050,
вул. Б. Хмельницького, 12-А, оф. 63
Тел.: +380 98 054 61 87



TESSA Ltd.

Off. 63, 12-A B. Khmelnytskyi Str.,
Kharkiv, 61050, Ukraine
Phone: +380 98 054 61 87

Certified Distributor of Omniverter / Omni Power Inc.

E-mail: powertessa@gmail.com
www.powertessa.pp.ua

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ЗАХИСТУ КРИТИЧНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ДБЖ СЕРЕДНЬОЇ НАПРУГИ OMNI MV UPS

Швидкий розвиток технологій, масштабне будівництво великих центрів обробки даних (Data Centers Tier III/IV), модернізація медичних комплексів та автоматизація важкої промисловості поставили нові виклики перед інженерами систем електропостачання.

Традиційні архітектури захисту на базі низьковольтних джерел безперебійного живлення (LV UPS) дедалі частіше стикаються з критичними фізичними обмеженнями. Великі потужності вимагають величезних струмів, що призводить до перегріву систем, збільшення перерізу кабельних ліній та ускладнення комутаційної апаратури.

Ефективним вирішенням цих викликів є перехід на рівень середньої напруги.

Джерело безперебійного живлення OMNI MV UPS є інноваційним промисловим рішенням, розробленим для забезпечення комплексного захисту електроживлення у діапазоні потужностей від 2,5 МВт до 25 МВт.

Працюючи на номінальних напругах від 2,4 кВ до 34,5 кВ, ця система дозволяє централізувати захист об'єкта, уникнути «кабельного хаосу» та істотно оптимізувати капітальні та експлуатаційні витрати (CAPEX/OPEX).

ГОЛОВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПЕРЕВАГИ

- **РЕВОЛЮЦІЯ МАСШТАБУ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ІНФРАСТРУКТУРИ (MV ЗАМІСТЬ LV)**

Перенесення точки захисту на рівень середньої напруги вирішує проблему обмеження струмів у розподільчих пристроях та збірних шинах. Завдяки вищій напрузі робочі струми системи є значно нижчими. Це дозволяє радикально зменшити кількість силових кабелів, трансформаторів та комутаційних апаратів.

Результат — спрощення загальної архітектури, підвищення надійності за рахунок меншої кількості вузлів та зниження теплових втрат в усій системі.

- **ЕКОНОМІЯ КОМЕРЦІЙНОЇ ПЛОЩІ ТА ГНУЧІСТЬ МОНТАЖУ**

Системи низької напруги вимагають розміщення безпосередньо поруч із корисним навантаженням. Натомість OMNI MV UPS може бути реалізований як усередині будівлі, так і у вигляді готового всепогодного контейнерного рішення для вулиці. Це дає можливість винести систему безперебійного живлення за межі основної будівлі, звільняючи сотні квадратних метрів дорогоцінної площі під дохідне

обладнання (наприклад, серверні стійки або виробничі лінії).

- **НУЛЬОВИЙ ЧАС ПЕРЕМИКАННЯ (TRUE ONLINE TOPOLOGY)**

На відміну від резервних (offline) систем, OMNI MV UPS працює в режимі онлайн. Це повністю усуває затримки при переході на резервне живлення. Вихідні характеристики напруги системи повністю відповідають стандартам низьковольтних ДБЖ із подвійним перетворенням, що гарантує абсолютну безпеку для найчутливішої електроніки чи медичного обладнання.

- **МАКСИМАЛЬНА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЗАХИСТ РЕСУРСІВ**

Система демонструє високий ККД на рівні 98% при навантаженні від 50% до 100%, і навіть при частковому навантаженні (від 25% до 50%) ефективність залишається у межах 96–98%. Крім того, ДБЖ безперервно фільтрує мережу від гармонік та усуває дисбаланс напруги без постійного циклування накопичувачів енергії, що значно подовжує термін служби акумуляторів.

- **ІНВЕСТИЦІЯ В ЕНЕРГОРИНОК ТА ПІДТРИМКА DERMS**

Завдяки інтеграції з системами керування розподіленими енергоресурсами (DERMS), OMNI MV UPS виконує функції підтримки стабільності мережі (керування активною/реактивною потужністю) та зрізання пікових навантажень (Peak Shaving). Це дає можливість підприємству знизити плату за електроенергію за високими денними тарифами або заробляти, беручи участь у програмах регулювання частоти для операторів енергосистем.

- **МОДУЛЬНІСТЬ, НИЗЬКА ВАРТІСТЬ ВОЛОДІННЯ ТА ШВИДКИЙ РЕМОНТ (MTTR)**

Архітектура побудована на базі модульних силових конвертерів типу plug-and-play та низьковольтних систем накопичення енергії (стандартно — сучасні Li-Ion батареї). Перше капітальне обслуговування з втручанням у систему потрібне лише через 10 років експлуатації, а середня тривалість ремонту (MTTR) у разі виходу модуля з ладу становить менше 30 хвилин.

Деталізовану інформацію ви можете отримати з оригінальних технічних матеріалів виробника, наведених далі.

OMNI MV UPS

TECHNICAL SPECIFICATION

OMNI MV UPS

2500kVA—25000kVA, up to 34.5kV



The space and electrical power needed to run a large critical power facility has increased over the past decade.

Facilities are continually faced with the need to maximize the productivity of their operations and it is essential to have clean continuous power to avoid any major losses.

OMNI MV UPS

OMNI MV UPS is the next generation of medium voltage UPS intended for multi megawatt power protection.

Based on the ZISC architecture the OMNI MV UPS introduces a flexible solution with high reliability and high efficiency for critical power facilities.

Medium Voltage

The transition from low voltage (LV) to medium voltage (MV) level is a natural progression of power protection for large critical power facilities. The approach offers two main benefits. It increases reliability and reduces costs of the critical power facility build and operation.

Increased reliability is derived from the MV design approach with larger protected load blocks, lower switchgear count and the operating culture of medium voltage systems.

Installing the power protection at the MV level provides the most energy efficient configuration as the lower currents at this voltage result in smaller cables and lower losses.

The OMNI MV UPS is the most recent addition to OMNIVERter's medium voltage product portfolio, creating a complete power protection solution for customers.



tame your power—keep your profits

Complete power protection

Reliable and clean power with optimized operating costs



Cost Effective

Class leading efficiency - 98% at 50% to 100% loading
Reduced maintenance compared to alternative solutions

Performance

Performance in line with IEC62040-3 Class 1
High fault clearing capability
Higher availability due to modular design

Flexibility

Scalable power up to 25MVA
Distributed layouts
Versatile energy storage options
Indoor or containerized outdoor solution

Connectivity and monitoring

Remote monitoring and diagnostics

Serviceability

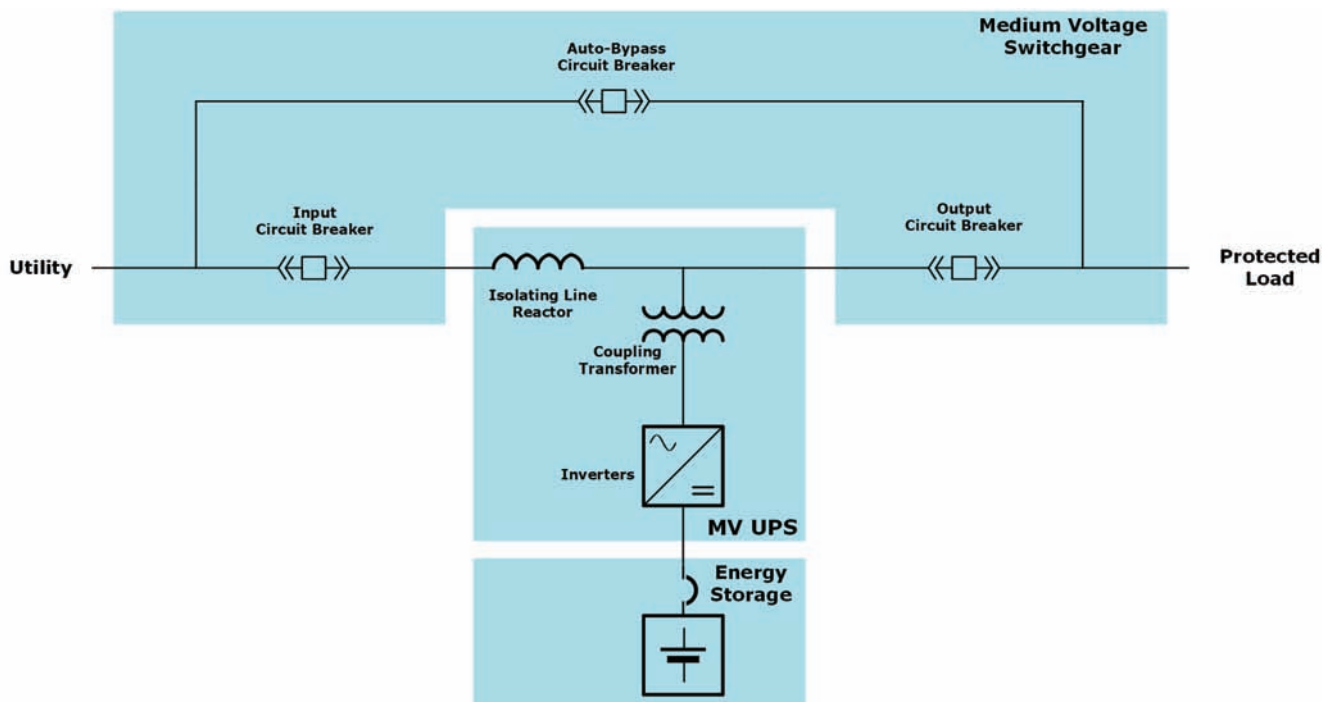
Plug and play power converters
Power converters and energy storage at low voltage
MTTR typically less than fifteen minutes
Comprehensive service log
Up to ten years between intrusive maintenance

Grid Support Functionality

System energy storage reserve available for grid support services or peak shaving.

ZISC Architecture

Impedance (Z) Isolated Static Converter



ZISC is a high performance, high efficiency power conditioning and uninterruptible power supply architecture. It provides protection from a broad spectrum of utility voltage events and supplies continuous clean power to the protected load.

ZISC architecture is based on an isolating line reactor coupled with the high performance power converters. This simple approach, backed up with advanced control, provides unmatched availability and performance, with class leading efficiency.

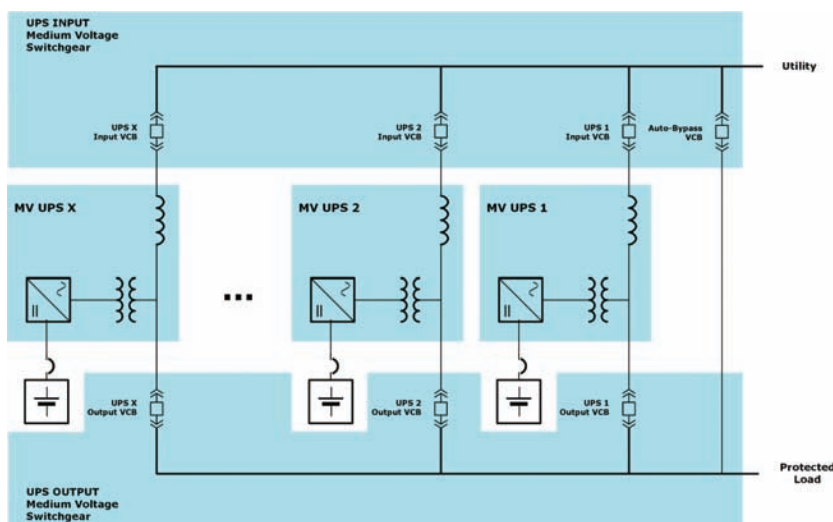
Decoupled from the utility via the isolating line reactor, the power converters continuously condition and filter utility disturbances, such as harmonics and voltage imbalance, without cycling the energy storage. Load related events, such as downstream faults and other dynamic reactive current demands, are managed with ZISCs high overload capability.

The isolating line reactor and the coupling transformer are applied at medium voltage, whereas the power converters and energy storage are at low voltage, thus simplifying maintenance.

Combined with a wide range of modern energy storage ZISC provides autonomies from few seconds to hours.

System configurations overview

Parallel and/or Redundant configuration



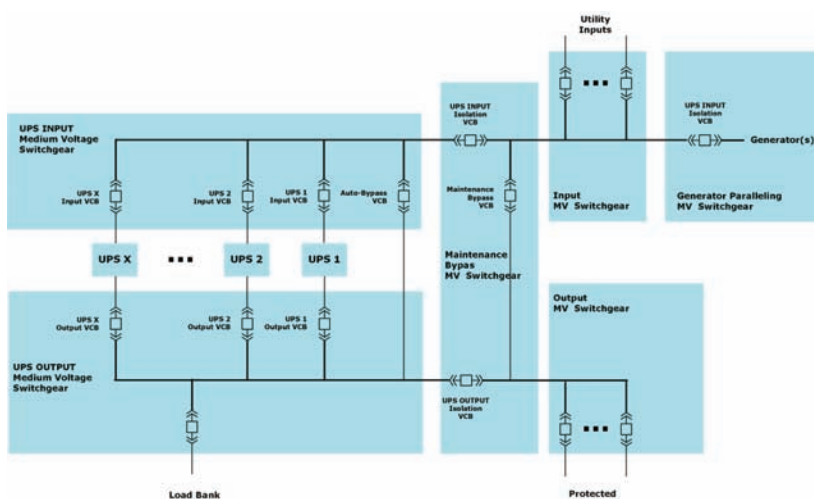
Multiple units can be connected in a parallel configuration to increase the capacity of a system.

Any redundancy requirements (from $N+1$ to $2N$) are achieved by the parallel configuration.

The limitation on the number of parallel units is driven by the supply fault capacity and available switchgear.

The configuration doesn't require overriding master controller.

Dedicated Electrification System

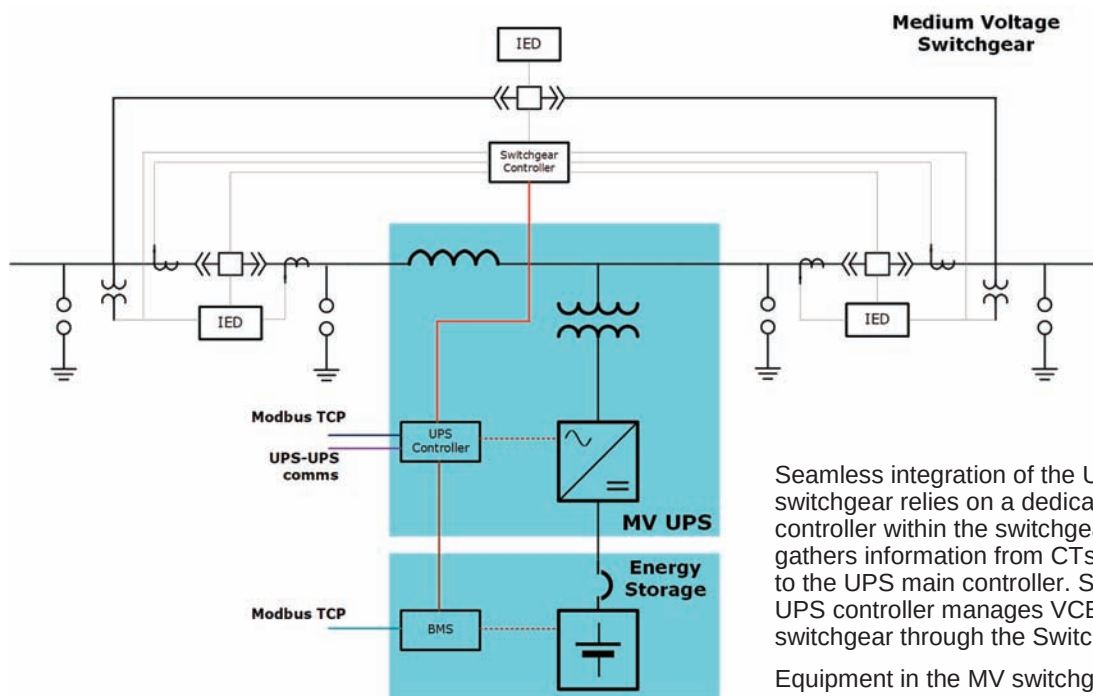


A standard medium voltage (MV) Uninterruptible Power Supply (UPS) project involves the utilization of an MV UPS system, capable of delivering up to 25 megawatts. This system is integrated with Balance of Plant electrical systems, such as a basic 3-breaker MV Maintenance bypass. Alternatively, it can be extended to cover the entire spectrum of incoming and outgoing feeders in various arrangements. In more elaborate setups, it may also incorporate a suite of Generator Paralleling switchgear.

Every MV UPS system possesses unique characteristics and specifications, demanding a personalized and consultative approach for its design and implementation. This is precisely where Omniverter's wealth of expertise and extensive experience becomes invaluable. Omniverter excels in tailoring solutions to the distinct requirements of each MV UPS project, ensuring a meticulous understanding of the specific needs, challenges, and intricacies involved.

MV UPS System Design Overview

Single 2500kVA system design example



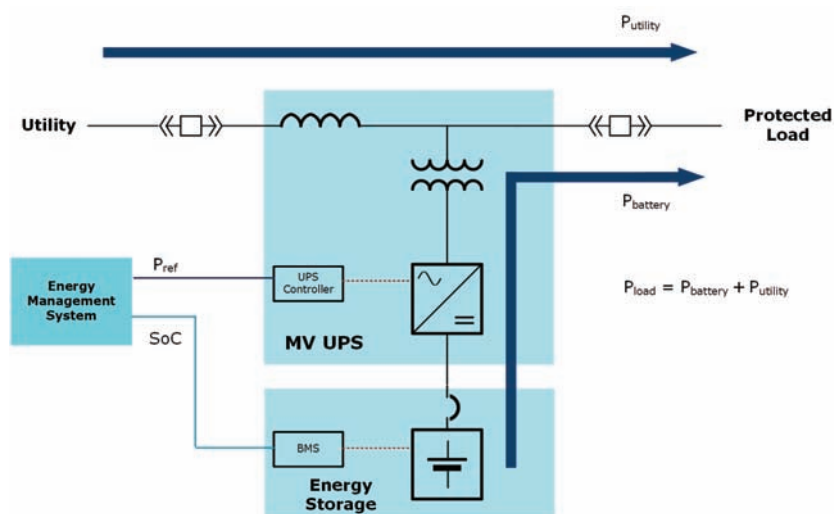
Seamless integration of the UPS unit with the MV switchgear relies on a dedicated Switchgear controller within the switchgear. This controller gathers information from CTs and PTs, relaying it to the UPS main controller. Simultaneously, the UPS controller manages VCBs in the MV switchgear through the Switchgear controller.

Equipment in the MV switchgear is tailored to UPS requirements, ensuring optimal performance and safety.

Contact Omniverter for more details.

Demand Response Functionality

The OMNI MV UPS can interface with an external Demand Response Controller or Energy Management System via Modbus TCP to provide grid support services. The energy storage connected to the HiPerGuard can be used to provide peak shaving or support on renewable energy source integration.



Operating principle

The OMNI MV UPS protects the load by supplying continuously regulated voltage, irrespective of utility conditions. The high performance power electronic inverters ensure that the output voltage is regulated for combinations of load power factor or input supply voltage disturbances.

The resulting performance is continuous clean power in accordance with IEC62040-3 VI SS 111, while having efficiency in the 98% range and the ability to supply high fault currents for downstream protection.

The OMNIVERTER Medium Voltage switchgear forms a bypass arrangement, with the Input breaker also having an active role in normal operation, in the presence of deep sags.

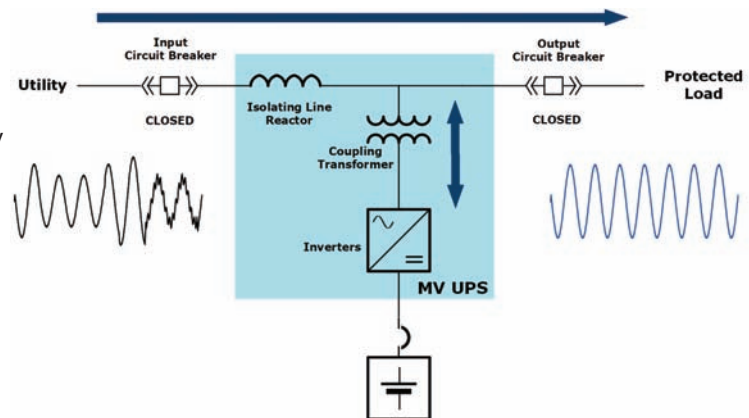
The OMNI MV UPS continuously regulates the voltage to the load. An input power factor of close to unity is maintained under normal supply voltage conditions, regardless of the load power factor.

For shallow sags and swells, no energy storage is used, thus reducing micro cycling of the energy storage.

For deep sags and outages, the Input breaker will open while the OMNI MV UPS maintains the supply of the load.

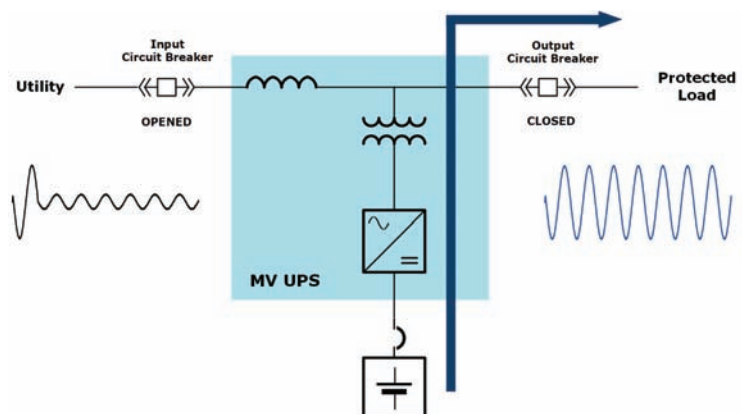
Power conditioning mode

During power conditioning mode the power converters can control the real and reactive power from the utility to the load, without cycling the energy storage. At the same time the OMNI MV UPS is continuously conditioning and filtering any utility disturbances like harmonics and voltage imbalances, as well as providing reactive current support to the critical loads.



Independent mode

If the utility power is no longer available, the OMNI MV UPS opens its input breaker and seamlessly transfers the load to the energy storage, operating now in independent mode. The energy storage allows ride-through time for either the utility power to be restored, or for the time necessary for an alternative energy source to be activated, such as a diesel generator for example.





М.О. Шихайлов,
наук. співробітник



В.П. Коханевич,
канд. техн. наук,
ст. наук. співробітник

Ін-т відновлюваної
енергетики
НАН України



УДК 621.548

Надійшло
Received 13.04.2026

ВИКОРИСТАННЯ ВІДЦЕНТРОВИХ СИЛ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ РОТОРІВ ВІТРОЕЛЕКТРИЧНИХ УСТАНОВОК

USE OF CENTRIFUGAL FORCES TO ADJUST THE ANGULAR SPEED OF WIND POWER PLANT ROTORS

M. Shikhaylov, V. Koshanevich

Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine

The paper presents an incomplete analysis of the designs of centrifugal regulators used in low-power wind turbines. A number of designs of centrifugal controllers of the angular velocity of wind turbine rotors have been analyzed and their design features have been determined. The expression describing the dependence of the moment of centrifugal forces on the design parameters of a classical centrifugal controller has been analyzed. Based on this analysis, parameters have been determined that will allow for the implementation of individual settings of the controller.

Keywords: wind energy, wind turbine, centrifugal rotor angular velocity controller.

Вітроелектричні установки (ВЕУ) малої потужності перш за все характеризуються високим значенням кутової швидкості ротора. Це означає, що на всі елементи ротора, включаючи самі лопаті, під час обертання діють значні відцентрові сили. Тому для обмеження кутової швидкості ротора в них широко застосовуються відцентрові регулятори прямої дії різних конструкцій.

Найбільш поширеною є конструкція, де відцентрові сили діють безпосередньо на закріплені на махах лопатей відцентрові тягарці. Назвемо її умовно класичною. Виникаючи при обертанні ротора відцентрові сили повертають лопаті навколо власної вісі обертання або в бік зменшення кута атаки (флюгерне регулювання) або в бік його збільшення (антифлюгерне регулювання) [1]. На сторінках 79–80 цієї праці описана конструкція і принцип дії відцентрового регулятора вітроустановки ВБЛ-3. Це класичний випадок антифлюгерного регулювання, його ще називають зривним. Вітроустановка ВБЛ-3, що обладнана поворотними лопатями з відцентровим регулятором кутової швидкості ротора, який складається з жорстко встановлених на махах лопатей відцентрових тягарців, кривошипно-шатунового механізму, що передає рух від поворотних лопатей до втулки, яка може здійснювати зворотно-поступальний рух вздовж головного валу. При цьому русі втулки має можливість стискувати спочатку пускову пружину (меншої жорсткості), потім більш жорстку робочу пружину. Таким чином, баланс сил, що діють на лопаті, порушується і лопаті, якщо їх не утримувати в такому положенні, різко виводяться пружинами на вихідні кути установки. Ротор знову починає прискорюватися.

Зупинка вітроустановки здійснюється вручну з землі завдяки ручному приводу зупинки ротора. При запуску вітроустановки кут встановлення має значення близько 30° , що збільшує початковий обертальний момент та забезпечує самозапуск при появі достатньої швидкості вітру. В робочому положенні кут встановлення має значення близько 7° , а в зупиненому — мінус 2° . В процесі регулювання кут змінюється у вказаному діапазоні (від плюс 7 до мінус двох градусів). Тобто маємо класичний приклад так званого антифлюгерного або зривного регулювання.

Недоліком вказаного пристрою є складність конструкції: дві пружини, кривошипно-шатунний механізм, рухома втулка, самі тягарці, державка, на якій вони кріпляться, підшипникові вузли у махах лопатей або у маточині, ручний привід зупинки ротора і т.д.

Крім того, така вітроустановка має недолік, що притаманний всім вітроустановкам з антифлюгерним регулюванням — це необхідність утримувати кут встановлення лопатей у незмінному значенні поблизу так званих критичних кутів атаки, де відбувається зрив потоку. При перевищенні цього кута коефіцієнт підйомної сили скачком зменшує своє значення, а сила стиснутої пружини має майже максимальне значення. Таким чином рівновага сил, що діють на лопаті, порушується і лопаті, якщо їх не утримувати у цьому положенні, скачком виводяться за допомогою пружин на пускові кути встановлення. Ротор знову починає розганятися. Тобто має місце пульсуючий режим роботи ротора і всіх механізмів, що з ним пов'язані. А все з-за відсутності пристрою, що міг би утримувати лопаті в зоні критичних кутів атаки на біль менш постійному рівні, навіть при змінюванні кутової швидкості ротора. Подібна конструкція регулятора використана у вітроелектричній станції АВЕУ-4-6 [2] виробництва Астраханського заводу "Ветроэнергомаш" (розробка НПО "Ветроэн", м. Істра, Московська обл.).

Існують і інші конструкції відцентрових регуляторів. Наприклад, регулятор кутової швидкості по [3]. Тут регулятор обертів ротора вітроустановки містить підпружинену втулку, що виконана з можливістю переміщуватись вздовж головного валу ротора, лучковий механізм, що може повертати лопать навколо власної вісі обертання за рахунок шківів, які жорстко закріплені на махах лопатей та скоби, що жорстко кріпляться до підпружиненої втулки та охоплюють шків і орієнтовані вздовж валу, при цьому кожен шків охоплений тросом, один кінець якого закріплений на скобі, а інший — на підпружиненій втулці.

Крім того, муфта посаджена на вал ротора з можливістю здійснення зворотно-поступального руху, в ній виконані діаметрально розташовані отвори, а у валу — повздовжні осьові пази, у отворах втулки і пазах встановлений з'єднувальний палець, при цьому вал виконано порожнистим і у порожнині жорстко закріплені направляючі ролики та рухома роликова обойма, яка включає два ролики, що охоплені тросами, кінці одного з яких жорстко з'єднані відповідно з пальцем і валом, а кінці другого через направляючі ролики — з відцентровими тягарцями. Така конструкція детально розглянута в роботі [4].

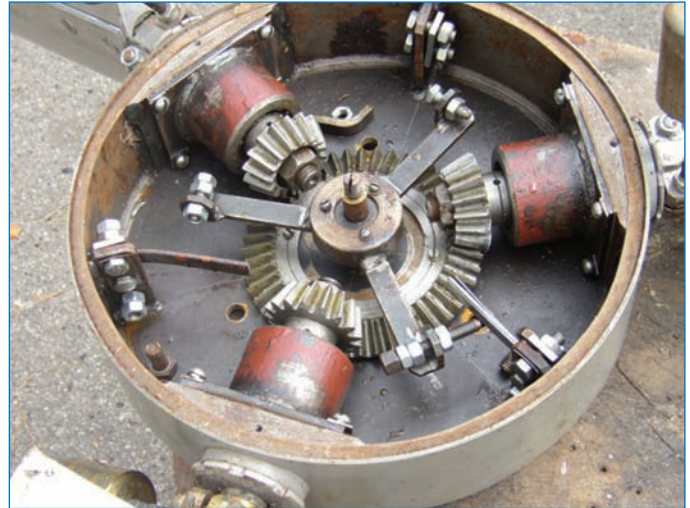


Рис. 1. Загальний вигляд маточини з регулятором на плоских пружинах

Але таке технічне рішення не може вважатися універсальним, тому що виникають певні конструктивні труднощі при її застосуванні, наприклад для найбільш поширеної трилопатевої ВЕУ. Крім того, оскільки відцентрові тягарці повертають лопаті за допомогою лучкового механізму і поліспасти, їхня маса має бути істотною.

Якщо існують обмеження щодо осьових габаритів регулятора, а відповідно і маточини, то замість спіральних пружин використовуються плоскі, наприклад як у роботі [5].

Нажаль такі регулятори мають невеликий діапазон кутів регулювання, що обмежує їх сферу застосування тільки для антифлюгерного регулювання.

Відомі конструкції так званих аеропружних лопатів [6], у яких розподіл мас на кінці лопаті виконаний таким чином, що при досягненні ротором номінальної швидкості обертання лопаті під дією відцентрових сил починають скручуватись, що змінює аеродинамічні характеристики лопатів і ротора в цілому. Це теж саме, що закріпити на кінці лопаті відцентровий тягарець, а функцію пружини виконує сама лопать завдяки її власній пружності.

При всій привабливості такої конструкції вона має бути виконана з використанням певних технологій, щоб забезпечити високу точність при виконанні профілю лопаті з одночасним виконанням вимог по розподілу мас на кінці лопаті.

На початку 20-х років XX-го століття проф. Г.Х. Сабінін запропонував систему регулювання, при якій поворот лопаті навколо власної вісі здійснюється під дією сили вітру на спеціальний поворотний відкрилок, який закріплювався на кронштейнах біля задньої кромки лопаті. Цей відкрилок називали стабілізатором, а регулювання — стабілізаторним [7]. Стабілізатор може обертатись навколо власної вісі обертання під дією відцентрових сил, що діють на спеціальні відцентрові тягарці. На початку 90-х років XX-го століття цю ідею було вдосконалено і реалізовано у вітроустановки ВЕУ-075; ВЕУ-08; ВЕУ-1,6; ВЕУ-4- виробництва та розробки Харківського ПП "Світ вітру" [8].

Цікавий приклад використання відцентрових сил для стабілізації кутової швидкості ротора ВЕУ наведений у роботі [9].

Перш за все ця ВЕУ однолопатева з протитягою. Принцип дії ротора полягає у зміні величини конусності ротора під дією сили лобового тиску на лопаті, що призводить до зміни кута встановлення лопаті, за рахунок використання так званого “косого шарніру”. В процесі розгону ротора кут конусності під дією відцентрових сил зменшується з одночасним зменшення кута установки лопаті до його робочих значень. Скидання надмірної потужності здійснюється за рахунок гальмування ротора силами Коріоліса, що виникають при русі повітря в порожнині лопаті ротора. Такий рух виникає, коли ротор досягає номінального значення і відчиняється пневматичний клапан під дією відцентрових сил. Така установка була виготовлена у м. Пермь (Росія) та випробувана у одній з аеродинамічних труб ЦАГІ (м. Москва).

Така конструкція ВЕУ не отримала широкого розповсюдження. Причин багато, але основна у неможливості балансування ротора. Здавалося все просто. Лопать врівноважується протитягою, але це статичне балансування. При обертанні ротора картина дещо інша. Відомо, що швидкість вітру залежить від висоти над поверхнею землі. На поверхні землі вона практично дорівнює нулю, а з висотою набуває певного значення. Отже коли лопать займає вертикальне положення її кінець може бути або у найнижчому або у найвищому положенні. Вочевидь, що швидкості вітру у цих крайніх положеннях різні, отже

і значення аеродинамічних сил теж різні. В той же час протитяга має відносно невеликі геометричні розміри і тому аеродинамічна сила, яка на неї діє має більш менш сталі значення. Отже при обертанні ротора маємо постійну зміну аеродинамічної сили, що діє на ротор. Цей факт призводить до виникнення коливань, протидіяти яким нема можливості.

Виходячи з аналізу розглянутих конструкцій, які використовують для регулювання відцентрові сили, приходимо до висновку, що відцентрові регулятори прямої дії (ми їх у цій роботі назвали класичними) у найбільшій мірі відповідають пакету вимог до регуляторів ВЕУ малої потужності.

Розглянемо розрахункову схему найпростішого регулятора і проаналізуємо, в яких напрямках рухатись для їх вдосконалення (див. **рис. 2**).

Зазначимо, що для спрощення сприйняття, на **рис. 2** не показані всі елементи регулятора, як то пружини, повзун, елементи кріплення, тощо. Отже з розрахункової схеми видно, що момент, який створюється під час обертання ротора від наявних у конструкції відцентрових тягарців, і намагається повернути лопать дорівнює:

$$M = Q \cdot b', \quad (1)$$

де:

Q — тангенційна складова результуючої відцентрової сили R ;

b' — плече, на якому сила Q створює момент “ M ”.

З **рис. 2** видно, що

$$b' = b \cdot \cos\psi;$$

$$Q = R \cdot \cos\theta,$$

де $\cos\theta = \ell/a' = (b \cdot \sin\psi)/a'$.

Крім того $R = m\omega^2 a'$. Підставляючи отримані вирази у рівняння (1) після певних перетворень отримаємо:

$$M = 1/2 \cdot m \cdot \omega^2 \cdot b^2 \cdot \sin 2\psi. \quad (2)$$

Слід зауважити, що вираз (2) справедливий для одного відцентрового тягарця. Для двох тягарців результат по виразу (2) слід помножити на 2.

Аналізуючи отриманий вираз, перше, що впадає в око, це те, що максимального значення вираз (2) набуває при $\psi = 45^\circ$, коли $\sin 90^\circ = 1$.

Друге, на що слід звернути увагу, це те, що момент по виразу (2) ніяким чином не залежить від місця кріплення відцентрових тягарців, тобто від параметру a (див. **рис. 2**). Тому виникає можливість розташовувати їх на будь-якій відстані від осі обертання ротора, хоч поблизу маточини, а хоч на самому кінці лопаті. Цей факт у свою чергу може значно розширити креативні можливості конструкторів ВЕУ.

Проаналізуємо в яких діапазонах може змінюватись кут ψ між кронштейнами для кріплення відцентрових тягарців і віссю обертання ротора при флюгерному та антифлюгерному регулюванні. При флюгерному регулюванні кут встановлення лопатів φ змінюється у діапазоні від $+2^\circ$ до $+70^\circ$. Тобто діапазон становить близько 65° . При антифлюгерному цей діапазон, а саме від -5° до $+25^\circ$, майже у 2 рази менший і становить 30° .

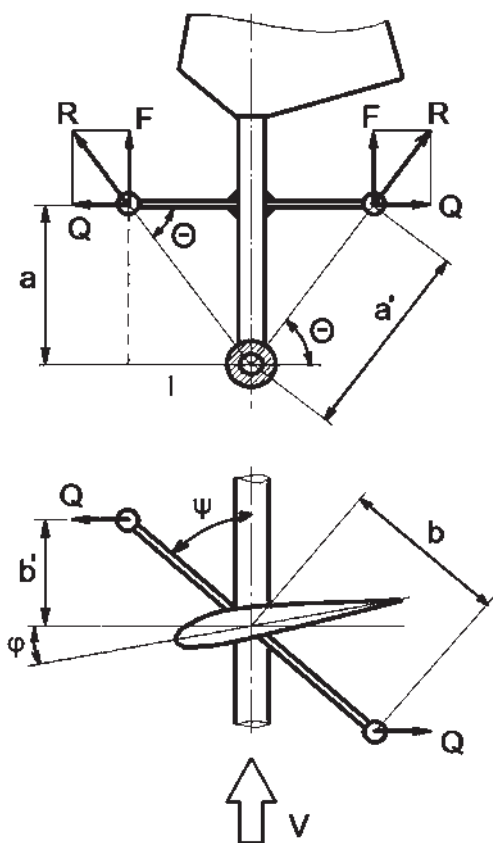


Рис. 2. Розрахункова схема відцентрового регулятора прямої дії

Оскільки кути ψ і φ змінюються синхронно, то виходячи з виразу (2) $\sin 2\psi$ при флюгерному регулюванні, а значить і момент M , змінюються від 0 при $\Psi=0$ до свого максимуму при $\sin 2\psi=1$ ($\Psi=45^\circ$), а потім знову зменшується до значення приблизно 0,86 від максимального.

Вище, коли мова йшла про аеропружні лопаті, було відмічено, що розподіл мас на кінці лопаті виконаний таким чином, що при досягненні ротором номінальної швидкості обертання, лопаті під дією відцентрових сил починають скручуватись, і що це теж саме, що закріпити на кінці лопаті відцентровий тягарець, а функцію пружини буде виконує сама лопать завдяки її власній пружності.

А такі конструкції теж мають місце [10] та [11]. Якщо в конструкції [10] на кінцях лопатів просто розташовані відцентрові тягарці, обертальний момент від яких врівноважується пружною силою торсіонного валу, що проходить вздовж всієї лопаті у її порожнині і жорстко кріпиться до маточини, то в конструкції [11] ці тягарці виконані у вигляді поршня з діючою на нього робочою рідиною під тиском, який створюється додатковими тягарцями. Таким чином під час руху поршня одночасно змінюються як маса центру тяжіння поршня разом з робочою рідиною,

так параметр b виразу (2). А відстань b входить до виразу (2) у квадраті. Отже незначна зміна b призводить до відчутної зміни моменту, що намагається повернути лопать навколо власної вісі обертання.

ВИСНОВКИ

1. У малій вітроенергетиці відцентрові регулятори кутової швидкості ротора прямої дії використовуються дуже давно і досить часто завдяки своїй простоті і надійності.

2. Для отримання максимального значення моменту, що створюється відцентровими тягарцями у регуляторах прямої дії і намагається повернути лопать, направляючи, на яких вони розташовані, мають бути встановлені під кутом близьким до 45° до площини обертання ротора.

3. Створюваний відцентровими тягарцями момент ніяким чином не залежить від відстані до вісі обертання. Тому виникає можливість розташовувати їх на будь-якій відстані від цієї осі: хоч поблизу маточини, а хоч на самому кінці лопаті

4. Уважно аналізуйте вирази, що отримані під час ваших досліджень, адже в них можуть бути зосереджені цілі напрямки подальшої практичної діяльності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шефтер Я.И. Использование энергии ветра. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1983. 200 с.
2. Харитонов В.П. Автономные ветроэлектрические установки. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006. 280 с.
3. А.с. СССР № 1038541 Регулятор частоты вращения ветроколеса, заявка 34132132/25-06 від 23.03.82, авторів Н.А. Шихайлова, Ю.В. Шевченка, В.И. Коваленка, опубл. 30.08.83. Бюл. № 32.
4. Шихайлов М.О., Головка В.М., Коханевич В.П. Використання рівнянь Лагранжа другого роду для отримання статичної характеристики відцентрового регулятора. *Відновлювана енергетика*. 2021, № 4(67), 60–69.
5. Деклараційний патент України № 28175А, автора Шевченка Ю.В. "Вітроколесо з регулятором", заявка № 95041875/23/28 від 25.04.95, опубл. 15.03.90, бюл. № 10.
6. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, Н. Нойбергер, Д. Ципленков. Д.: НГУ, 2015. 335 с.
7. Фатеев Е.М. Ветро двигатели и ветроустановки. 2-е изд. М.: Сельхозгиз, 1957. 536 с.
8. Фаворський Ю.П., Шихайлов М.О. Практичний досвід використання вітроенергетичних систем. *Електрифікація та автоматизація сільського господарства*. 2004, № 2(7), 107–113.
9. Ветро двигатель: А.с. 1550209. СССР. МКИ F03D 7/02 / Ю.В.Шевченка. № 4434909/06; Заявл. 31.05.88; Опубл. 15.03.90; Бюл. № 10.
10. Патент України на корисну модель № 73244 "Вітроустановка", авторів Мхітаряна Н.М., Шихайлова М.О., Коханевича В.П., Головка В.М., Душиної Г.П., опубл. 10.09.2012, бюл. № 17.
11. Патент України на винахід № 113386 "Вітроустановка", авторів Шихайлова М.О., Коханевича В.П., Головка В.М., Марченко Н.В., опубл. 25.01.2017, бюл. № 2.



**Виконуємо розрахунки рівня електромагнітного поля промислової частоти будь-якої складності на електромережевих об'єктах (ЛЕП, РУ ПС та електростанцій, промислових та комунальних підприємствах).
Проводимо відповідні вимірювання.**

E-mail: krasnozhon08@gmail.com

Тел.: +38 066 612 14 87



ЯК МАЙБУТНІ РІШЕННЯ ЄС МОЖУТЬ ПЕРЕФОРМАТУВАТИ УКРАЇНСЬКУ ЕНЕРГЕТИКУ



Після декількох років формування політики в межах Європейського зеленого курсу (Green Deal) та пакету "Fit for 55", саме 2026-й стане роком впровадження ключових змін в сфері "зеленої" політики в ЄС. Нові правила покликані прискорити розгортання ВДЕ і підвищити енергоефективність, забезпечуючи досягнення кліматичних цілей ЄС. Для України, яка прагне інтеграції до європейського ринку та відновлює енергетику під час війни, ці зміни служать дороговказом, своєрідною дорожньою картою, яка задає стандарти та рішення, які варто враховувати під час стратегічного планування і власного розвитку.

ЄС суттєво підвищив свої "зелені" цілі на наступне десятиліття. Оновлена Директива про відновлювані джерела енергії (RED III), що вступила в силу 2023 року¹, закріплює юридично зобов'язуючу мету: всі країни ЄС спільно мають забезпечити частку ВДЕ не менше 42,5% в загальному кінцевому споживанні до 2030 року (порівняно з попередньою метою в 32%). Протягом 2024-2025 років тривав етап імплементації цих норм у національні законодавства країн-членів², а вже з 1 січня 2026 року очікується повне впровадження оновлених правил у багатьох країнах (зокрема, щодо спрощення дозвільних процедур). В той же час, ЄС також зберігає додаткову індикативну мету із досягнення 45%, що відповідає плану REPowerEU для швидкої відмови від російських енергоресурсів та демонструє прагнення ЄС наблизитися до кліматичної нейтральності. Для контексту: Європа взяла на себе зобов'язання скоротити викиди парникових газів на 55% до 2030 р. (від рівня 1990 року), а в липні 2025 року Єврокомісія навіть запропонувала нову ціль³ — 90% скорочення викидів до 2040 року, щоб впевнено рухатися до нульових викидів до 2050 року.

Паралельно ЄС приділяє увагу енергоефективності: нова Директива щодо енергоефективності встановлює мету зменшити кінцеве енергоспоживання на 11,7% до 2030 року⁴. Іншими словами, Європа прагне "робити більше з меншими витратами енергії", знижуючи залежність від імпорту та викиди CO₂. А менше споживання означає, відповідно, також вищий відсоток чистої енергії в енергобалансі, що доповнює ціль по ВДЕ.

Тут варто також додати про українські реалії. Кабінет Міністрів України в червні 2024 року затвер-

див Національний план з енергетики та клімату (НПЕК) на період до 2030 року, який передбачає досягнення 27% частки ВДЕ у кінцевому споживанні до 2030 року. І хоча така мета є нижчою за європейську, але вона сформована з огляду на поточні виклики країни (війна, відбудова інфраструктури) і вже гармонізована з підходами ЄС, адже Україна розробила цей план за зразком Регламенту ЄС 2018/1999 про управління Енергетичним Союзом. Тож, очевидно, що надалі, по мірі відновлення енергосистеми, Україні було б доцільно підвищувати свої "зелені" амбіції, орієнтуючись на загальний підхід ЄС. Це б сигналізувало інвесторам, що наш ринок ВДЕ також буде зростати, і що частка "зеленої" енергії збільшуватиметься. Перший звіт про виконання НПЕК було подано до Енергетичного Співтовариства у березні 2025 року⁵, а у 2026 році на рівні Уряду вестиметься робота зі збору та підготовки пропозицій для оновлення НПЕК. Галузь готова долучатись до цього процесу також, зокрема в частині забезпечення прозорого моніторингу виконання плану.

КЛЮЧОВІ РЕГУЛЯЦІЇ, ПІДХОДИ І ПРАКТИКИ ЄС, ЩО НАБУВАЮТЬ ЧИННОСТІ ЧИ НАБИРАЮТЬ ОБЕРТІВ У 2026 РОЦІ

2026 року в дію входять кілька важливих регуляторних актів ЄС, ухвалених раніше в рамках згаданого "Fit for 55" і інших ініціатив, а також обертів набирають деякі реформи і технологічні пріоритети. Тобто це рік, коли перелічені нижче ініціативи почнуть реально працювати і так чи інакше впливатимуть на ринки.

- **Директива ЄС про відновлювані джерела енергії (RED III).** Як вже було сказано вище, нову редакцію директиви було ухвалено у 2023 році, а до 1 січня 2026 року держави-члени вели роботу із транспонування її положень у національні законодавства. Тут варто згадати, що УВЕА у 2025 році взяла участь в проєкті, який реалізувався Данським енергетичним агентством у партнерстві з Міністерством енергетики України в межах Програми українсько-данського енергетичного партнерства, за результатами якого було підго-

¹ <http://uwea.com.ua/ua/news/entry/rada-s-uhvalila-novu-direktivu-z-vidnovlyuvano-energetiki/#:~:text=ПАДА%20ЄС%20УХВАЛИЛА%20НОВУ%20ДИРЕКТИВУ%203%20ВІДНОВЛЮВАНОЇ,року%20з%20додатковим%20індикативним%20збільшенням%20на%202>

² <https://www.solarpowereurope.org/press-releases/new-report-average-eu-member-state-transposition-of-permitting-rules-for-renewables-falls-short-at-just-under-50>

³ https://commission.europa.eu/news-and-media/news/eu-climate-law-new-way-reach-2040-targets-2025-07-02_en

⁴ https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ%3AJOL_2023_231_R_0001&qid=1695186598766

⁵ <https://me.gov.ua/News/Detail/9aabd5b4-e9e7-40e3-bd55-aa3772ba9116?lang=uk-UA&title=ZvitZNpek>

товлено Звіт із переліком чітких кроків по удосконаленню регуляторного середовища у сфері ВДЕ в Україні у відповідності до ключових положень REDIII⁶. Зокрема, у 2026 році можливий подальший розгляд проекту Закону № 13450 про інфраструктурні проекти у сфері енергетики, які становлять суспільний інтерес. Тож галузь, в свою чергу, очікує на включення до відповідного переліку і проектів з ВДЕ, зокрема вітрової генерації, що відповідає практиці ЄС.

- **Директива про енергоефективність (EED).** Переглянута Директива ЄС про енергоефективність набула чинності у жовтні 2023 року, і держави ЄС мали впровадити її норми до кінця 2025 року. Тож з 2026 року фактично почнуть діяти нові зобов'язання, зокрема: загальноєвропейська ціль скорочення кінцевого споживання енергії на 11,7% (порівняно з прогнозами 2020 року на 2030 рік), що еквівалентно ліміту ~763 млн тонн н.е. кінцевого споживання у 2030 році. Для досягнення цього кожна країна повинна забезпечити щорічну економію енергії у кінцевому споживанні ~1,5% на рік (у середньому), причому темп поступово зростає до 1,9% в 2030 року. Вводиться також нова вимога: державний сектор по всій ЄС має щороку скорочувати власне енергоспоживання на 1,9%, а 3% будівель державних установ — проходити термомодернізацію щороку, що Україна також може взяти до уваги при плануванні відбудови будівель.
- **Механізм прикордонного вуглецевого коригування (СВАМ).** Із 1 січня 2026 року ЄС запроваджує фінальну фазу СВАМ — систему сплати за вуглецеві викиди, пов'язані з імпортом енергоємної продукції до Євросоюзу. Пілотний період звітності 2023–2025 рр. добігає кінця, і від 2026-го імпортери в ЄС будуть зобов'язані купувати сертифікати СВАМ на кожен тону викидів CO₂, вбудованих у такі товари, як сталь, цемент, добрива, алюміній, електроенергія. Важливо, що це стосується і електроенергії та промислових товарів з країн Енергетичного співтовариства (включно з Україною). Хоча платником буде формально європейський імпортер, зрозуміло, що додаткова “вуглецева” вартість ляже і на експортерів. Україна вже розробляє власну Систему моніторингу, звітності та верифікації (МЗВ) і готується до пілотного запуску Національної системи торгівлі викидами (СТВ) у 2026 році⁷. Якщо українські виробники платитимуть за свої викиди за ринковою ціною вуглецю, Єврокомісія може розглянути питання про зарахування цих платежів і уникнення подвійного регулювання на кордоні. У більш широкому сенсі, СВАМ стимулюватиме модернізацію української промисловості.
- **Реформа ринку електроенергії та розвиток інфраструктури.** Переживши енергетичну кризу

2021–2022 років ЄС зробив висновки щодо вдосконалення дизайну електроенергетичних ринків. У 2023 році Єврокомісія запропонувала зміни, спрямовані на зменшення волатильності цін та стимулювання інвестицій у ВДЕ: зокрема, в частині заохочення довгострокових контрактів (PPA, CfD), посилення захисту споживачів від різких коливань цін та створення гнучких ринків послуг з балансування. Тож очікується також, що в 2026 році країни ЄС почнуть впроваджувати нові правила роботи оптового ринку електроенергії, а також реалізовувати низку проектів спільного інтересу в Європі, що направлені на розширення пропускної здатності мереж та інтеграцію ринків. Ще у березні 2022 році українська енергосистема аварійно синхронізувалася з континентальною мережею Європи. Станом на літо 2025 року були дані, що обсяги експорту електроенергії повернулись на рівень осені 2022 року⁸, тобто до початку повномасштабних атак на енергетичну інфраструктуру України. Хоча, варто зауважити, що максимальна експортна потужність переглядається щомісячно. Зовсім нещодавно з'явилась також новина, що Київ та Брюссель узгодили подальші кроки з інтеграції ринку електроенергії України з ринком ЄС вже на 2026 рік⁹, тобто очікуємо найближчим часом зростання торгівлі і наближення правил до європейських, зокрема, скасування адміністративних цінових обмежень.

РОЗВИТОК СИСТЕМ ЗБЕРІГАННЯ ЕНЕРГІЇ

Масове впровадження ВДЕ потребує відповідних гнучких ресурсів і ЄС робить ставку на акумулюючі потужності (Battery energy storage system). Станом на кінець 2025 року сукупні акумулюючі потужності в Європі (включно з ГЕС із накопиченням) досягли історичної позначки в 100 ГВт, і ще очікується зростання до понад 215 ГВт до 2030 року, де 163 ГВт становитимуть виключно системи зберігання енергії — літій-іонні батареї¹⁰.

У відповідь на цей тренд, Європа вже зараз працює над усуненням наявних бар'єрів: асоціація Energy Storage Europe відзначає, що необхідно спростити й уніфікувати дозвольні процедури для сховищ енергії, інтегрувати накопичувачі до планування розвитку мереж і створити для них рівні умови на ринку.

Деякі країни ЄС запустили аукціони для систем зберігання та інші механізми оплати гнучкості, щоб стимулювати інвестиції.

Крім того, у 2023 році ЄС ухвалив Регламент про нульовий рівень викидів у промисловості (Net-Zero Industry Act), який серед іншого ставить ціль з локалізації виробництва батарей і електролізерів, тобто також створює базу для зростання сектора зберігання.

⁶ <http://uwea.com.ua/ua/news/entry/ukrana-na-shlyahu-do-mplementac-red-iii-yak-sprostiti-dozvln-proceduri-dlya/>

⁷ <https://100re.org.ua/en/cbam-2026-ukraine-on-the-threshold-of-a-new-energy-era/>

⁸ <https://expro.com.ua/novini/u-cheravn-2025-r-ukrana-zblshila-eksport-elektroenerg-v-25-razi->

⁹ <https://34.ua/ukraina-ta-ies-pohodyly-novyj-etap-intehratsii-u-2026-rotsi-shcho-peredbachaie-rishennia/>

¹⁰ <https://balkangreenenergynews.com/europes-energy-storage-capacity-to-reach-100-gw-this-year-more-than-double-by-2030/>

НОВІ СТРАТЕГІЧНІ ІНІЦІАТИВИ ЄС У 2026 РОЦІ

У 2026 році Єврокомісія також планує запустити нові політичні ініціативи та стратегії, які визначать подальший курс енергетичної трансформації. Серед найбільш значущих для України такі:

- **План дій з електрифікації.** Під кінець 2025 року Рада ЄС підтримала підхід, що масова електрифікація економіки є ключем до енергетичної незалежності Європи¹¹. Йдеться про комплекс заходів, які прискорять заміщення викопного палива електричними рішеннями всюди, де це можливо — в транспорті, в опаленні будинків, у промисловому виробництві. Електрифікація на основі чистої електроенергії розглядається як “наріжний камінь енергетичної незалежності Європи”. Тож для України слідкувати за розвитком подій і політичних рішень в ЄС в частині електрифікації може також стати цінним орієнтиром, адже українська енергосистема історично дуже залежна від спалювання газу та нафти. Відмова від газових котлів на користь електричного опалення чи теплових насосів може стати рішенням для регіонів, де зруйновано газову інфраструктуру. Звичайно, це потребуватиме розвитку мереж та генерації, тому Україні варто планувати ці кроки паралельно з нарощуванням ВДЕ.
- **Стратегія декарбонізації опалення та охолодження.** Окремо Єврокомісія анонсувала на початок 2026 року Європейську стратегію з питань опалення і охолодження¹². Нагальна потреба такої стратегії зумовлена тим, що майже половина споживання енергії в ЄС припадає на опалення та кондиціювання приміщень, і близько 70% цієї енергії досі виробляється з викопного палива (переважно газу). Очікується, що стратегія окреслить шляхи масового впровадження теплових насосів, використання відновлюваної та відпрацьованої теплової енергії (наприклад, теплота промислових процесів чи дата-центрів) і переведення систем централізованого тепlopостачання на вуглецево-нейтральні джерела. Для України значення цієї ініціативи важко переоцінити, адже українська сфера опалення досі значною мірою базується на природному газі. Тож поява такої стратегії додасть конкретики щодо технологій і регуляторних стимулів, які довели ефективність на рівні ЄС. Україна зможе використати ці рекомендації у своєму плані відновлення і власній довгостроковій політиці.
- **Поступова відмова від субсидій на викопне паливо.** Ще один сигнал з Брюсселя: в Програмі роботи ЄК на 2026 рік анонсовано ініціативу щодо поетапного скасування субсидій на викопне паливо¹³. Фактично, мова про те, щоб країни ЄС перестали дотувати видобуток або споживання вугілля, нафти, газу адже такі субсидії суперечать цілям зі скорочення викидів і часто консервують не-

ефективність. Історично Україна витратила значні кошти на підтримку низьких тарифів для населення (наприклад, на газ та електроенергію) і дотувала вугільну галузь. Звісно, повне скасування цих механізмів — це болісний соціально-політичний крок, але європейський тренд очевидний: замість субсидування споживання викопного палива краще спрямувати ресурси на адресну допомогу вразливим споживачам і на проекти енергоефективності. До моменту вступу в ЄС доведеться продемонструвати, що прямих субсидій викопного палива в Україні немає. Перенаправлення цих коштів у розвиток ВДЕ та зберігання енергії принесе більше користі для енергобезпеки. Важливо також прозоро відстежувати “приховані” субсидії (скажімо, податкові пільги для нафтогазових підприємств). ЄС веде облік таких стимулів, і Україні варто теж запровадити відповідний облік та поступове згортання.

- **Пакет “Енергетичний союз” на наступне десятиліття.** 2026 рік стане переломним і в плані формування бачення розвитку на період після 2030 року. Єврокомісія готує пропозиції щодо оновлення стратегії Енергетичного союзу ЄС на 2030-ті роки. Одним із елементів цього стане юридичне закріплення цілі зі скорочення викидів на 2040 рік (як згадувалось вище, пропонується –90% від рівня 1990 р). Можливо, будуть переглянуті і цілі за часткою ВДЕ та енергоефективністю на 2035–2040 рр. Пакет може включати плани розвитку транс’європейських енергомереж до 2040 (з урахуванням збільшення електроспоживання, водневої економіки), нові програми досліджень в області чистої енергії та промислового переходу. Тож оновлена Енергетична стратегія України до 2050 року має також бути узгоджена з європейським баченням (кліматично нейтральна економіка до середини століття). Будь-які рішення, що приймаються зараз — чи то будівництво нових електростанцій, чи модернізація НПЗ — потрібно оцінювати з огляду на їх сумісність із жорсткішими цілями 2040+. Перебудова енергетики — це процес не одного десятиліття, тож проекти відбудови в Україні слід фактично “зашивати” в загальноєвропейський контекст на перспективу.

Європейські політики 2026 року дають Україні кілька чітких орієнтирів для власної стратегії розвитку енергетики та інтеграції з ЄС:

- Прискорити гармонізацію законодавства та підвищити національні цілі.
- Поглибити інтеграцію з енергоринками ЄС: досягнення повного “market coupling” з європейською електроенергетичною системою.
- Мобілізувати інвестиції для “зеленої” трансформації: з одного боку, механізми на кшталт СВММ ставлять вимогу декарбонізувати економіку, з іншого — Євросоюз та міжнародні фінансові інститути готові скеровувати кошти туди, де є чіткі

¹¹ <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2025/10/20/council-agrees-its-position-on-rules-to-phase-out-russian-gas-imports-under-repowerEU/>

¹² https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/heating-and-cooling_en

¹³ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_25_2414

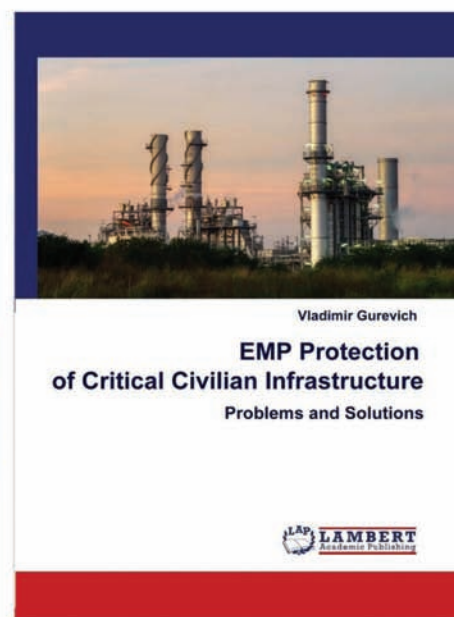
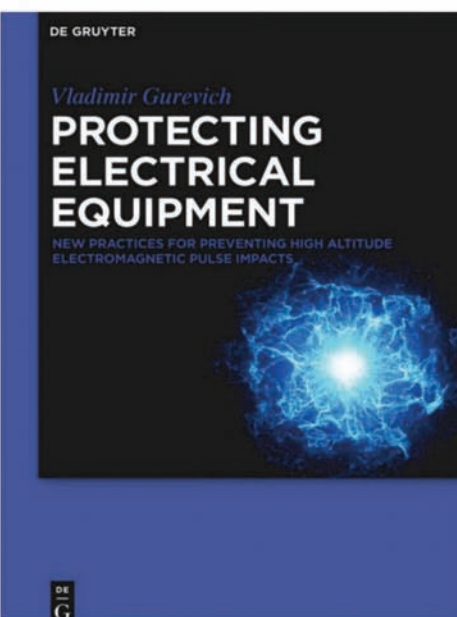
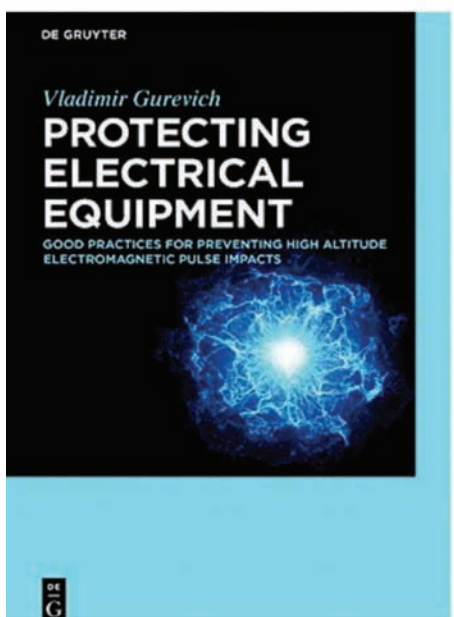
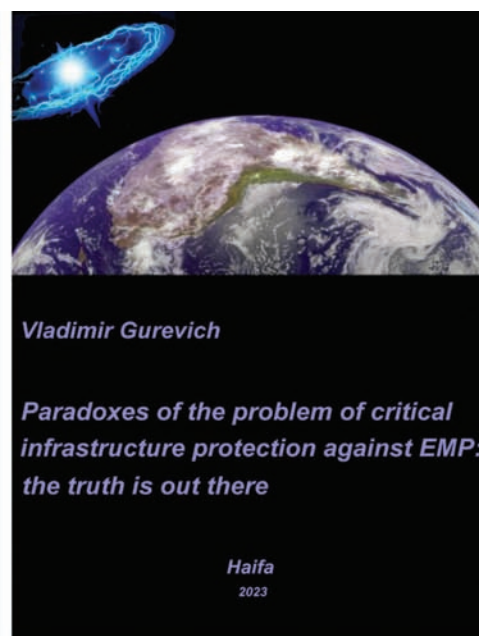
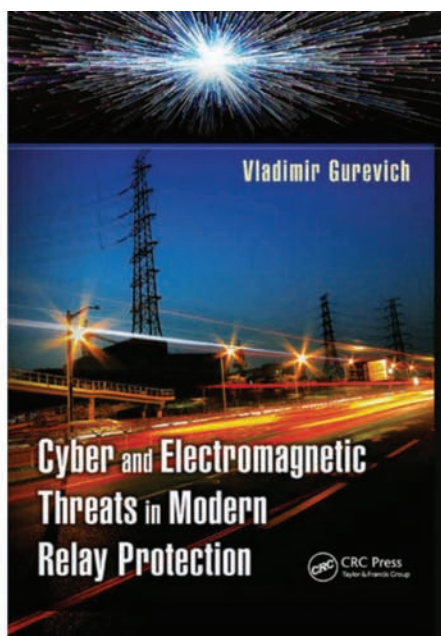
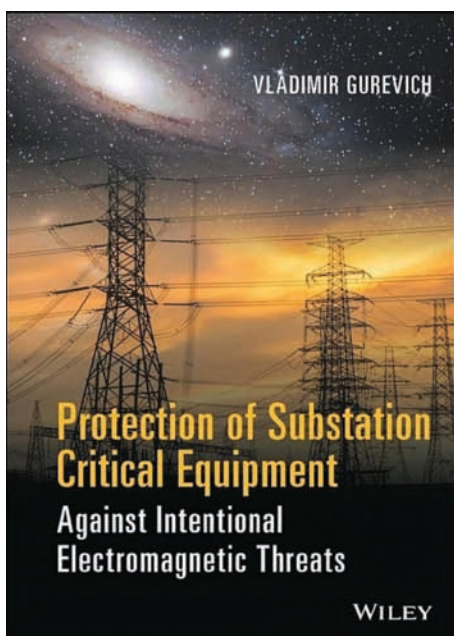
плани. Тож Україні слід презентувати себе як перспективний майданчик для “зелених” інвестицій: величезний технічний потенціал вітру, сонця, біомаси і водню може бути реалізований за умов прозорих правил і гарантій захисту інвестицій. Окремий напрям — “зелені” промислові інвестиції. Європейські металурги шукають майданчики для модернізації і поєднання доступних відновлюваних ресурсів та інфраструктури в Україні може їх зацікавити.

- Посилити енергетичну безпеку завдяки відмові від викопного палива. Європа чітко демонструє, що перехід на власні відновлювані джерела — це питання безпеки і незалежності. Прагнення відмовитись від російського газу до 2028 року є тому підтвердженням.

- Продовжувати планувати своє майбутнє разом із Європою. Синхронізація стратегічних документів — це запорука того, що з часом українська енергетична політика стане невіддільною від політики ЄС, бо такий механізм забезпечує тяглість курсу незалежно від внутрішньополітичних змін.

Європейська політика ВДЕ у 2026 році демонструє: перехід від амбіцій до дій можливий, якщо є політична воля і чіткий план. Україні теж час перейти від декларацій до впровадження, спираючись на підтримку партнерів та виконуючи взяті зобов'язання. Це спільний шлях до чистої енергетики і спільної енергетичної безпеки Європи.

*Підготовлено аналітичним відділом
Української вітроенергетичної асоціації*





А.М. Манілов,
інженер



С.О. Товстюк,
інженер

Надійшло
Received 10.11.2025

ПРО АВТОМАТИЧНЕ ВИМКНЕННЯ В КІНЦЕВИХ КОЛАХ З РОБОЧИМ СТРУМОМ ПОНАД 32 А

Створенню прийняттого рівня ризику в електроустановках сприяє застосування захисних заходів від ураження електричним струмом. У переважній більшості випадків застосовуються такі види захисту як автоматичне вимкнення живлення, подвійна або посилена ізоляція струмовідних частин та наднизька напруга. Найбільш поширеним захисним заходом від ураження електричним струмом є автоматичне вимкнення живлення.

Відповідно до п. 1.7.82 Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) в системі заземлення TN і TT час захисного автоматичного вимкнення живлення в кінцевих колах з робочим струмом до 32 А не повинен перевищувати 0,4 с і 0,2 с відповідно. Для кінцевих кіл з робочим струмом понад 32 А, які живлять тільки стаціонарне обладнання від розподільних пристроїв, час вимкнення можна збільшувати до 5 с та 1 с відповідно. Однією з умов при цьому для системи змінного струму є те, що повний опір захисного провідника між головною заземлювальною шиною електроустановки і розподільним пристроєм не перевищує:

$$Z_{\text{зп}} \leq 50 / I_a \text{ (умова 1.7.3 ПУЕ),}$$

де:

- $Z_{\text{зп}}$ — повний опір захисного провідника між головною заземлювальною шиною і розподільним пристроєм, Ом;
- I_a — струм, який протікає через захисний провідник і спричинює спрацювання захисного пристрою.

Для розподільчих кіл систем TN та TT час захисного автоматичного вимкнення відповідно до п. 1.7.82 ПУЕ також допускається таким, що не перевищує 5 с та 1 с відповідно.

В зазначеній умові базовим значенням є максимально допустима напруга дотику величиною 50 В. Проте в разі замикання на корпус електроприймача по заземлювальному провіднику протікає струм однофазного короткого замикання, який перевищує струм спрацювання захисного пристрою I_a та спричинює появу на корпусі електроприймача напругу не 50 В, а більшу.

Наведемо приклад. На рис. 1 наведено часострумову характеристику модульного автоматичного вимикача з номінальним струмом 63 А. На характеристиках зазвичай вказано зону можливого спрацювання захисного апарату. За цією характеристикою мінімальний струм I_a , який спричинює спрацювання пристрою за час 5 с, дорівнює 180 А, а максимальний — 320 А. Під час вирішення питань електро-



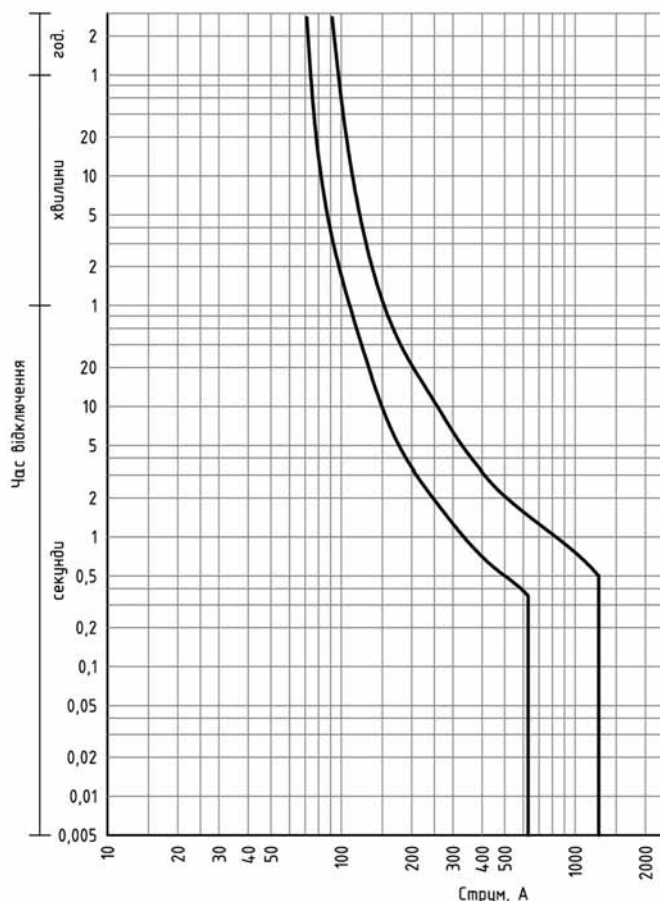


Рис. 1. Часострумova характеристика автоматичного вимикача, $I_{\text{ном}} = 63 \text{ A}$

безпеки необхідно приймати спрацьовування максимально можливого часу або струму спрацьовування автоматичного вимикача, тобто 5 с за значення струму 320 А. Тоді повний опір захисного провідника ЗЗП за умовою (1.7.3) ПУЕ не повинен перевищувати значення 0,156 Ом. Якщо виконати цю умову, забезпечивши опір захисного провідника, наприклад, $Z_{\text{ЗП}} = 0,15 \text{ Ом}$, а струм однофазного короткого замикання буде 500 А, то на корпусі пошкодженого електроприймача може з'явитися напруга $U = 500 \cdot 0,15 = 75 \text{ В}$.

Слід зауважити, що в **ДСТУ Б В.2.5-82:2016 “Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом”** взагалі відсутні будь-які умови. Стандарт дозволяє в усіх розподільчих колах, а також кінцевих колах з розрахунковою величиною робочого струму понад 32 А незалежно від величини номінальної напруги збільшувати час автоматичного вимикання до 5 с в електроустановках з системою TN та 1 с в електроустановках з системою TT (п. 4.2.2.3 та п. 4.2.3.3). Водночас ДСТУ Б В.2.5-82:2016 містить умову щодо характеристик захисних пристроїв (автоматичних вимикачів, запобіжників) і повних опорів кіл замикання в електроустановках, яка має забезпечуватися, а саме:

$$Z_S \times I_a \leq U_0$$

(умова 3 та умова 5 ДСТУ Б В.2.5-82:2016),

де:

Z_S — повний опір кола замикання, яке включає в себе джерело живлення, лінійні провід-

ники між точкою замикання і джерелом живлення та провідники захисного заземлення між точкою замикання та джерелом живлення, Ом;

U_0 — номінальна напруга між лінійним виводом джерела живлення і зоною нульового потенціалу;

I_a — струм, який згідно з часострумовою характеристикою захисного пристрою забезпечує автоматичне вимикання протягом максимально дозволеного часу (тобто 0,4 с або 5 с для системи TN при $120 < U_0 < 230 \text{ В}$ та 0,2 с або 1 с для системи TT при $120 < U_0 < 230 \text{ В}$).

Умовою (1.7.3) ПУЕ можливо скористатися під час перевірки існуючих об'єктів, а от під час проектування це зробити досить складно. Так, якщо виразити з умови (3) ДСТУ Б В.2.5-82:2016 струм I_a та підставити його в умову (1.7.3) ПУЕ, то отримаємо вираз

$$Z_{\text{ЗП}} \leq (50 \cdot Z_S) / U_0.$$

За напруги $U_0 = 230 \text{ В}$ маємо $Z_{\text{ЗП}} \leq 0,217 \cdot Z_S$ або $Z_S \geq 4,6 \cdot Z_{\text{ЗП}}$, тобто повний опір кола замикання повинен бути більшим за повний опір захисного провідника між головною заземлювальною шиною і розподільним пристроєм майже у п'ять разів.

Таким чином виконання умови (1.7.3) ПУЕ викликає необхідність збільшувати переріз захисних провідників на ділянці від ГРЩ до електроприймача. З метою уникнення збільшення перерізу необхідно, щоб час автоматичного вимкнення всіх кінцевих кіл

(з будь-яким робочим струмом, а не тільки до 32 А), не перевищував 0,4 с в системі TN. Електроприймачі, приєднані безпосередньо до РУ-0,4 кВ підстанції повинні теж мати захисні апарати з часом вимикання не більше 0,4 с. В будь-якому випадку час вимикання однофазного короткого замикання захисним апаратом лінії живлення (генератор, ввід до ГРЩ тощо) повинен бути більшим за час вимикання захисних апаратів попередніх ділянок мережі. Тому на лінії від підстанції до ГРЩ з метою забезпечення селективності захисних апаратів необхідно прийняти час, що перевищує 0,4 с, але не більше 5 с.

Для забезпечення автоматичного вимкнення однофазного короткого замикання за час, що не перевищує 0,4 с в системі TN необхідне застосування пристрою захисного вимкнення (ПЗВ) диференційного типу або виносного захисту від однофазних коротких замикань з трансформатором струму нульової послідовності, до якого приєднано струмове реле, що діє на незалежний розчіплювач автома-

тичного вимикача. Уставку струму спрацьовування захисту слід встановити за виразом:

$$I_{с.з.} = K_{відс.} \cdot I_{нб},$$

де:

$K_{відс.}$ — коефіцієнт відстроювання, значення якого приймають 1,3-1,5;

$I_{нб}$ — струм небалансу в реле в нормальному режимі.

ВИСНОВКИ

1. Для забезпечення електробезпеки час автоматичного вимкнення однофазного короткого замикання усіх кінцевих приєднань повинен бути не більшим за 0,4 с.

2. Забезпечення часу автоматичного вимкнення, що не перевищує 0,4 с, можливе за застосування диференційного принципу захисту.

3. Збільшення часу вимкнення, але не більше 5 с, можливе лише для розподільних кіл живлення з метою забезпечення селективності.

Лист до редакції журналу “ПРОМИСЛОВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА”.

У ДБН В.2-5-23:2025 при підрахунку навантажень не враховано суттєве зменшення навантаження при використанні світильників ЛЕД, що може призводити до значного подорожчання оснастки при застосуванні ламп.

Необхідно доповнити ДБН (табл. 6.2). Пониження потужності трансформаторів зменшить габарити ТП.

Просимо внести зміни.

Манілов А.М.



**VIII Міжнародна спеціалізована виставка
низьковольтної електротехніки
та електроніки**

**ELECTRO
INSTALL
2026**

Жовтень 13–15



Місце проведення:
МВЦ, м. Київ,
Броварський пр-т, 15,
станція метро «Лівобережна»

Контакти:

+38 (095) 268-05-84
lyudmila@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua



ПОТУЖНА ЗАРЯДНА СТАНЦІЯ UPD-1600

Д.Г. КОЛІУШКО, А.В. ПЛІЧКО,
С.С. РУДЕНКО, О.Є. ІСТОМІН



Харківськими вченими розроблено та запущено у виробництво зарядну станцію (пристрій безперебійного живлення) UPD-1600. Пристрій повністю автоматичний, що працює за принципом "УВІМКНУВ І ЗАБУВ". Вихідна напруга живлення: 5 В та 12 В постійного струму і 220 В змінного струму.

UPD-1600 є компактним, мобільним, екологічно-чистим, чудовим рішенням для забезпечення резервного живлення. Вбудована інверторна система з генерацією ідеальної синусоїди живиться від сучасного літій-залізо-фосфатного (LiFePO4) акумулятору та утворює надійний вузол для забезпечення автономного живлення будь-яких електроприладів квартир, офісів, магазинів, медичних та косметологічних кабінетів тощо.

Крім того, у випадку особливих вимог до ємності та вихідної потужності зарядної станції, а також умовами підключення можливим є індивідуальна комплектація, включно з установкою на Вашому об'єкті.

ПЕРЕВАГИ ПРИСТРОЮ



Автоматична робота

Не доведеться розбиратися в тому, як його підключити — на відміну від генератора пристрій не передбачає ніяких складнощів в цьому питанні. Працює за принципом "увімкнув і забув". Може бути вбудований в мережу приміщення.



Надійність та безпека при роботі

Якісні компоненти та монтаж забезпечують надійну роботу пристрою на протязі його використання. Конструкція забезпечує електробезпеку при роботі.



Захист від коливань напруги

Встановлення реле гарантує захист від стрибків напруги мережі підключених до пристрою приладів.



Чиста синусоїда

Форма вихідної напруги дозволяє жити всі без винятку електроприлади (будь-які котли, холодильник, насос, дрібна побутова техніка).



Висока потужність

Можна одночасно заживити електроприлади загальною потужністю до 1,5 кВт.



Потужний інвертор

Може забезпечити довготривале навантаження в 1,5 кВт, та пікове до 3 кВт.



Робота від зовнішнього акумулятору

Є можливість приєднання додаткового акумулятору, що підвищує ємність UPD-1600, що дозволяє збільшити час автономної роботи.



Зарядка від сонячної батареї/автомобілю

Можна заряджати не тільки від мережі, а й від автомобільного акумулятору та сонячної панелі.



Модульна структура

Створити пристрій за вашими потребами: необхідною ємністю акумулятору за довготривалим та піковим навантаженням та інше.



Багатопортовий вихід

Цей пристрій є потужним павербанком. Але він не обмежується лише зарядкою телефонів, планшетів та ноутбуків. Він дозволяє підключити різноманітні побутові прилади.



Металевий корпус

Випускається у міцному металевому корпусі, який надійно захищає складові частини UPD-1600 від механічних пошкоджень.



LiFePO4 акумулятор

Пристрій з LiFePO4 акумулятором має довший термін експлуатації та розряджається повільніше без навантаження. Також такі акумулятори можна швидко заряджати. LiFePO4 акумулятор термічно та хімічно стабільний, що істотно підвищує безпеку при експлуатації.

Загальні відомості

Ємність:	А-год	100–280
	Вт-год	1000–3500
Потужність, Вт	до 1000 — довготривале навантаження	
Габаритні розміри, мм		305×350×470
Маса, кг		20–35

Вихідні порти

220 В, 50 Гц	2 шт.
5 В (USB)	Тип А — 2 шт.; Тип С — 1 шт.
12 В	"припалювач"
12 В	клеми

Вхідні порти

220 В, 50 Гц	1 шт.
12 В	клеми

Інформація про акумулятор

Хімічний склад елемента живлення	LiFePO4
Циклічний ресурс, не менше	4000 циклів

Робоча температура навколишнього середовища

Оптимальна робоча температура	від 15°C до 30°C
Температура зберігання	від -20°C до 45°C (оптимально: від 15°C до 30°C)

Додаткові відомості

Зовнішній акумулятор	підтримується (не постачається)
Сонячна батарея	підтримується (не постачається)

ДЛЯ ЗАМОВЛЕННЯ АБО УТОЧНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ПРОСИМО ЗВ'ЯЗУВАТИСЯ:

Денис КОЛІУШКО, ст. наук. співробітник НТУ "ХПІ",
тел. +380 68 880 99 47, e-mail: denny4791@gmail.com



В.Є. Шестеренко,
д-р PhD, професор



Ю.А. Чорний,
д-р PhD, доцент

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. академіка І.С. Гуломо Національного університету харчових технологій



УДК 621.316

Надійшло
Received 18.05.2026

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ МАТЕРІАЛІВ З ЕФЕКТОМ ПАМ'ЯТІ ФОРМИ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ

Розглянуто шляхи підвищення надійності систем електропостачання з використанням новітніх матеріалів — сплавів з ефектом пам'яті форми. Приведена коротка характеристика унікальних властивостей матеріалів з ефектом пам'яті форми. Подані конструкції діагностичних пристроїв на основі матеріалів з ефектом пам'яті форми. Показані переваги вказаних пристроїв порівняно з існуючими методами при діагностичному контролі контактних з'єднань, що забезпечують високу надійність діагностики стану контактів, оскільки несправність обладнання фіксується безперервно, а виявляється експлуатаційним персоналом в зручний для робітників час. Основні засади використання матеріалів з ефектом пам'яті форми в електроенергетиці були розроблені в інноваційному науково-виробничому підприємстві „Енерготехнологія“ (в складі НУХТ).

Кожен метал та сплав мають свою кристалічну решітку, архітектура та розміри якої наперед задані. Але у багатьох металів із зміною температури, тиску решітка не залишається незмінною. Настає момент, коли відбувається її перебудова. Така зміна типу решітки, поліморфне [1, 3–5] перетворення, може здійснюватися двома способами. По одній схемі відбувається перебудова решітки, якщо рухомість атомів — дифузія, досить висока, щоб забезпечити переміщення їх на нові місця. Це можливо, коли поліморфне перетворення відбувається при високій температурі. Такий спосіб був відкритий при гартуванні. В результаті гартування створюється фаза [1, 3–5] з новою кристалічною решіткою — мартенсит, відповідно спосіб перебудови одержав назву мартенситного перетворення.

Мартенситне перетворення характерне не тільки для сталей, але й для чистих металів, кольорових сплавів, напівпровідників, полімерів. Відбувається воно, коли перебудова решітки відбувається при відсутності дифузії [1, 3–5]. Залишається одна можливість — не відриваючи кристали один від одного переміщувати їх цілими групами, практично одночасно із старих положень в нові [1, 3–5]. Таке узгоджене переміщення має характер зсуву, тому мартенситне перетворення інколи називають зсувовим. Зсув призводить до зміни форми сплаву.

Вільна енергія кристалів мартенситу, що зароджуються, менша, ніж у висхідної фази. Це й стимулює розвиток мартенситного переходу. Але з'являються сили, що стримують його. Це вільна енергія, що виникає на межі розділу старої та нової фаз. Кристали мартенситної фази вимушені деформувати навколишню матрицю [1, 3–5], яка в свою чергу, створює опір цьому. В результаті виникає пружна енергія, яка затримує ріст кристалів. Накопичена енергія подібна пружині, що стискується при рості кристалів. Коли зусилля стає більшим границі пружності, відбувається ніби руйнування пружини, що викликає інтенсивну деформацію матеріалу в межах розділу фаз. Ріст кристалів припиняється. Цей процес може відбуватися дуже швидко,

подібно вибуху, і тоді окремі кристали мартенситу виростають практично миттєво до своїх кінцевих розмірів. Так відбувається мартенситне перетворення в сталях [1, 3–5].

Зворотний перехід мартенситу в аустеніт (високотемпературна фаза) не може проходити по “вибуховому” механізму. Потрібно суттєво нагріти сплав, щоб в надрах мартенситу почали зароджуватися та рости кристали аустеніту. При цьому їх форма, як правило, не поновлюється (атоми не попадають на свої місця).

Оскільки при такій перебудові міжатомні зв'язки більшості атомів не порушуються, зберігається можливість повернутися на свої попередні місця, а матеріал відповідно до висхідної форми [1, 3–5]. Але для цього потрібні особливі умови.

Зворотня перебудова структури не обов'язково повинна йти шляхом поступового повертання атомів на свої старі місця. Напрямі повертання може бути декілька. Все визначається складністю кристалічної решітки мартенситу. Якщо решітка настільки складна, що немає вибору, залишається тільки один шлях зворотної перебудови — рух на висхідні позиції. Тільки в цьому випадку мартенситне перетворення забезпечує кристалу пам'ять висхідної форми [1, 3–5].

Але пам'ять окремого кристала, це ще не пам'ять всього об'єму. Сплав, як правило, має полікристалічну будову, складається з безлічі окремих кристалів (зерен), що відрізняються один від іншого орієнтацією кристалічних решіток. В силу різної орієнтації зерен зсуви в кожному зерні будуть здійснюватися в різних напрямках. Зміна форми всього зразка відбудеться тільки в тому випадку, якщо створити певний порядок в розміщенні кристалів. В ідеальному випадку — орієнтувати всі кристали в одному напрямі.

При охолодженні, коли атоми покидають свої старі місця і займають нові, рухатися вони будуть в напрямі дії зовнішньої сили. Таким чином, процес мартенситного перетворення примушує атоми рухатися, а зовнішнє навантаження задає напрям руху. При нагріванні, коли атоми вимушені повертатися на висхідні місця, відбувається поновлення первинної форми навіть при дії зовнішніх сил [1, 3–5], оскільки інших напрямів руху в атомів просто немає. Процес відбувається без розриву міжатомних зв'язків та порушення сусідства атомів. Тому поновлюється форма всього об'єму матеріалу.

Для сплавів з ефектом “пам'яті форми” (ЕПФ) характерна наделастичність [1, 3–5] (гумоподібна поведінка). Цей ефект проявляється, якщо мартенситне перетворення відбувається під дією зовнішнього навантаження. В результаті спостерігається значна деформація сплаву. При цьому величина зворотної деформації на порядок вище, ніж у кращих пружинних матеріалів [1, 3–5].

Сплави з ЕПФ мають надвисоку циклічну міцність. Вони витримують значні знакозмінні навантаження. “Довговічність” виробів із сплавів з ЕПФ може бути в тисячі разів вищою, ніж у традиційних матеріалів. Циклічна стійкість забезпечується особливим механізмом мартенситного перетворення,

що не супроводжується порушенням міжатомних зв'язків. Не відбувається накопичення дефектів структури, які призводять до виникнення тріщин та руйнувань. Ефект пам'яті форми характерний для всіх сплавів, в яких перетворення у висхідну фазу після деформації протікає по мартенситному механізму. Але надпружність [1, 3–5] виявляється тільки у деяких сплавах.

Найяскравіша ця якість в сплаві нікеля з титаном — нітинолі. Вироби із сплаву нагрівають для переходу в високотемпературну модифікацію і в цьому стані їм надають визначену форму. Потім сплав охолоджується нижче критичної температури і переходить в іншу, низькотемпературну фазу. Таке перетворення нагадує термопружне мартенситне перетворення. Якщо виріб із сплаву в мартенситному стані піддати повторній пластичній деформації (допускається ступінь деформації до 6% і більше), а потім його нагріти, переводячи знову в високотемпературну модифікацію, то завдяки зворотному мартенситному перетворенню він прийме свою первинну форму, що була надана йому при першій деформації в стані високотемпературної модифікації [1, 3–5].

Для порівняння подібних матеріалів наведено основні характеристики нітинола-55 (55% Ni): нітинол-55 має температуру плавлення 1292°C, магнітну проникність менше 1,002, межа міцності 870 Н/мм², межа витривалості на базі 10⁷ циклів 490 Н/мм² [1, 3–5].

При нагріванні в процесі зворотного мартенситного перетворення сплав різко зміцнюється. Це проявляється в збільшенні модуля пружності в 3–4 рази до 8,4·10⁴ Н/мм² та межі текучості в 6–7 разів до 630 Н/мм². Нітинол-55 після деформації в мартенситному стані на 6–8% завжди дає 100% вертання. Деформація матеріалу вище 8% дає до 80% вертання, що в більшості випадків задовольняє вимогам при застосуванні [1, 3–5].

Вертання до вихідної форми відбувається в дві стадії: пружне вертання, що складає біля 20% заданої деформації, та термопластичне вертання, коли знищуються залишки 80% вертання деформації. В проволочі діаметром 0,4–0,5 мм, попередньо деформованої на 8%, в процесі вертання генерується напруга до 600 Н/мм². При цьому може виконуватися значна механічна робота на одиницю маси сплаву [1, 3–5].

Змінюючи в сплаві вміст титану та нікеля та додаючи легуючі присадки, можна впливати на температуру фазового перетворення в межах від –110°C до 600°C.

Ефект пам'яті форми виявлено також в сплавах Cu-Al-Ni з 12–16% Al, 0–10% Ni; Al-Fe-Cu з 12–16,5% Al, 0,5–3,9% Fe, інше Cu; Cu-Al-Mn. Ці матеріали також характеризуються здатністю у вузькому температурному інтервалі ±100K переходити з одного фазного стану (пластичного) в інший фазний стан (надпружний) і навпаки. Температура фазового перетворення визначається складом сплавів та їх термообробкою [1, 3–5].

Подібні сплави знайшли широке застосування як термочутливі елементи приладів та автоматич-

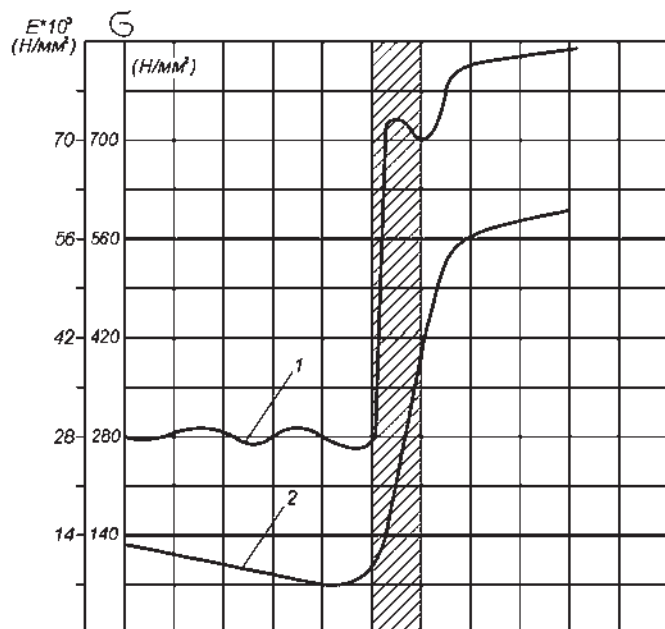


Рис. 1. Температурна залежність границі текучості (1) та модуля пружності (2) сплаву з ЕПФ (заштрихована частина — інтервал фазового перетворення)

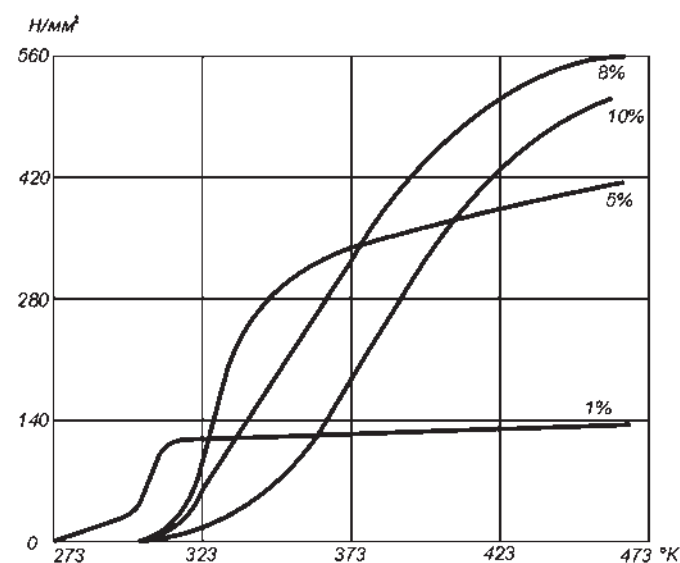


Рис. 2. Температурна залежність напруженості повертання



Рис. 3. Енергетичні характеристики приводів та матеріалу з ЕПФ

них пристроїв. Широко застосовуються ці сплави в космічній техніці, в авіації.

Температурна залежність границі текучості сплаву нітинол та модуля пружності його подані на рис. 1.

Елементи з ЕПФ відзначаються підвищеною чутливістю, можуть розвивати зусилля значно більші, ніж силові елементи відомих приводів, виконуючи при цьому суттєву роботу на одиницю маси сплаву.

На рис. 4 подані величини відносних деформацій елементів із сплавів з ЕПФ, а також латунних та пластмасових зразків. Співставлення кривих показує, що в інтервалі робочих температур 2900–3200 K чутливість елемента з ЕПФ більша за інші зразки в 200–400 разів [1, 3–5].

Унікальні властивості матеріалів з ЕПФ можуть використовуватися для захисту електричних мереж від перевантажень, в датчиках елементів гасіння пожежі, в температурних датчиках. Ці матеріали можуть суттєво спростити хімічні виробництва, якщо на їх основі виготовити вентилі, клапани, золотники та інше регулююче обладнання.

Із сплавів з ЕПФ в космічній техніці можна виготовляти антени для космічних апаратів, радіотелескопи з діаметром антени декілька км. В космос ці пристрої можна запускати в компактному контейнері в холодному стані. На орбіті сплав з ЕПФ нагрівається за рахунок сонячного випромінювання, розпрямляється і набуває тієї форми, яку йому запрограмували на землі [1, 3–5].

Аналогічно можна спроектувати підводні конструкції. Транспортування їх відбувається в складеному вигляді. Під водою, нагріваючись, вони приймуть проектну форму.

Матеріали з ЕПФ можуть суттєво підвищити якість механізмів, якщо виготовляти з цих сплавів заклепки, шплінти, шпонки, муфти для трубопроводів. В автомобілях можна пресувати окремі елементи.

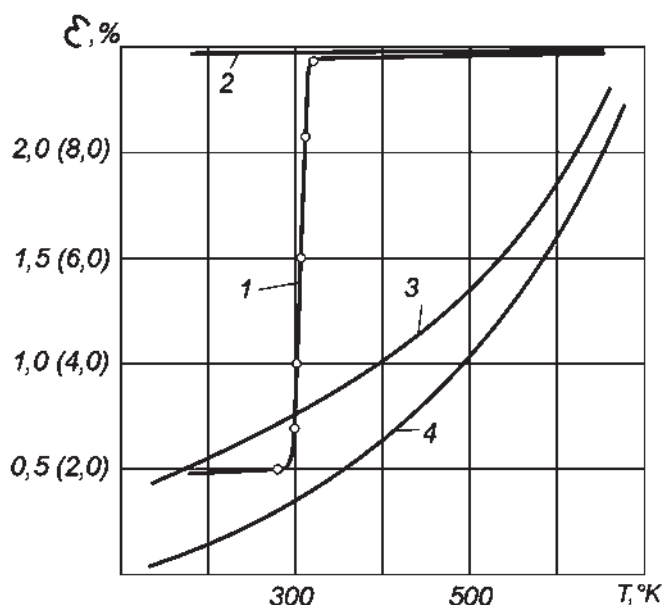


Рис. 4. Відносні температурні деформації термочутливих елементів, виконаних з матеріалів: 1 — сплав з пам'яттю форми (деформація в дужках); 2 — латунь; 3 — тефлон; 4 — поліетилен

ти кузова, і тоді зникне необхідність в складній рихтовці після аварійних ситуацій [1, 3–5].

СИГНАЛІЗАТОР ПЕРЕГРІВАННЯ КОНТАКТНИХ З'ЄДНАНЬ

Невикористаний резерв підвищення надійності електропостачання — запобігання аварійних відключень шляхом використання діагностичних пристосувань [13–20].

Для сигналізації критичного нагрівання контактів використовують термоплівкові показники, в останній час навіть тепловізори. Але всі вказані типи показників характеризуються низькою надійністю та недостовірністю результатів. Тепловізор може з високою точністю виміряти температуру контакту в момент перевірки. Проте через значні трудозатрати повторна перевірка можлива після тривалого часу. Крім того, тепловізором не користуються під час атмосферних опадів, в туман.

Сигналізатор перегрівання контактних з'єднань, що спрацьовує з високим ступенем надійності, може бути створений при використанні матеріалу з ефектом пам'яті форми (ЕПФ), зокрема нітинол-55 [13–15].

Цей матеріал характеризується здатністю у вузькому температурному інтервалі $\pm 100\text{K}$ переходити з одного фазного стану (пластичного) в інший фазний стан (надпружний) і навпаки. Температура фазового перетворення визначається складом сплавів та їх термообробкою. Завдяки тому, що нітинол має високу межу витривалості, добре демпфує вібрацію, слабо окислюється при нагріванні, із цього матеріалу можна виконувати елементи апаратного затискача [13–15].

Технічна суть запропонованого затискача пояснюється кресленнями (рис. 5, 6).

Затискач апаратний складається з корпусу 1 та контактної пластини, з'єднаних болтами 2. До контактної пластини 1, кріпиться індикатор критичного нагрівання 3, що складається з касети 4, фігурного термочутливого елемента із матеріалу з ЕПФ 5, флажка 6 та гвинтів 7 кріплення індикатора до контактної пластини. Температура зворотного мартенситного перетворення матеріалу з ефектом пам'яті форми дорівнює максимальній допустимій температурі апаратного затискача [13–17].

При пошкодженні затискача температура його починає підвищуватися. Корпус касети 4 є теплопроводом і нагріває елемент 5 із матеріалу з ЕПФ. При досягненні температури зворотного мартенситного перетворення матеріал елемента 5 різко змінює свої характеристики і намагається набути форму, яку він мав при виготовленні, випрямляється із значним зусиллям, виводячи флажок 6 із паза касети 4. Індикатор критичного нагрівання спрацьовує, відкриваючи яскраву поверхню флажка 6, сигналізуючи про приховану несправність затискача. Після відключення електрообладнання, температура затискача знижується, матеріал з ЕПФ втрачає свої пружні властивості, але у вихідне становище самостійно не повертається. Це суттєва перевага пристрою, оскільки несправність обладнання виявляється експлуатаційним персоналом в зручний час.

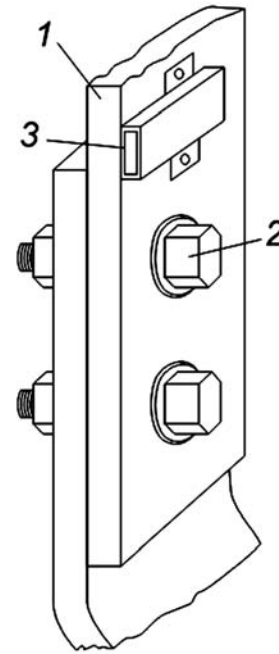


Рис. 5. Апаратний затискач у зібраному стані

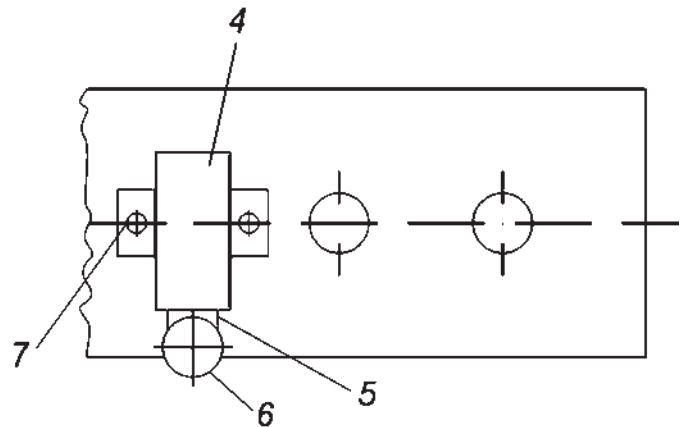


Рис. 6. Корпус затискача з індикатором критичного нагрівання

Повернення флажка 6 в паз касети 4 здійснюється при виконанні ремонтних робіт [17].

Конструкція індикатора критичного нагрівання відзначається високою технологічністю. Для виготовлення термочутливого елемента 5 можна використати смугу з нітинолу після прокатки без додаткової обробки.

Індикатори критичного нагрівання не втрачають своїх властивостей навіть у випадку повного пошкодження контакту. Висока корозійна стійкість нітинолу забезпечує термін служби в межах 30 років [13–17].

Витрати термочутливого матеріалу незначні, на один затискач декілька грамів. А тому додаткові затрати можуть окупитися за один рік.

ТЕРМОСИГНАЛІЗАТОР АВАРІЙНИХ ТЕМПЕРАТУР АПАРАТНИХ ЗАТИСКАЧІВ

Термосигналізатор аварійних температур апаратних затискачів, що спрацьовує з високим ступе-

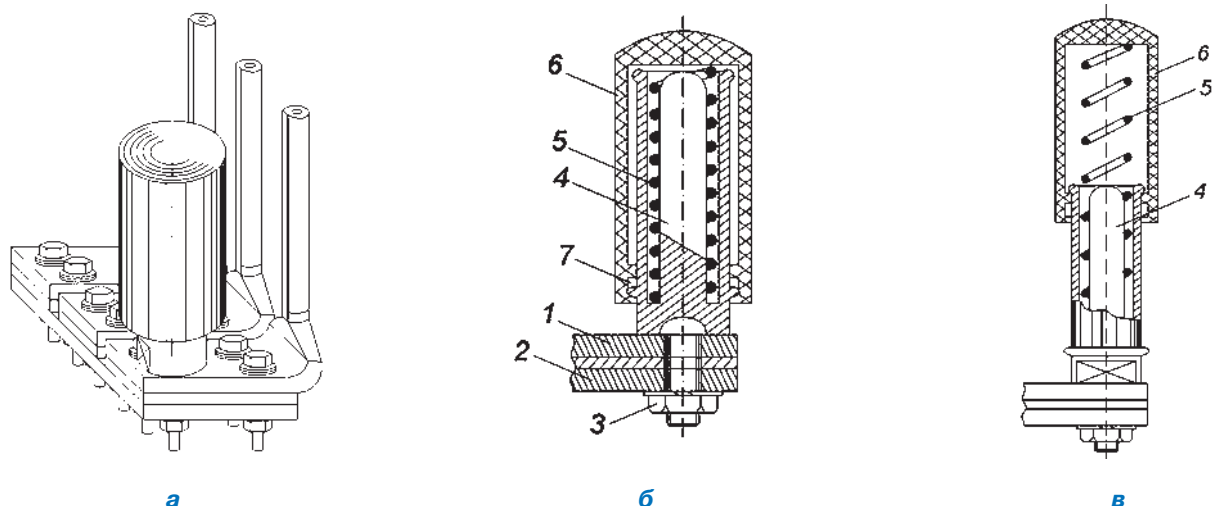


Рис. 7. Термосигналізатор аварійних температур апаратних затискачів: **а** — загальний вигляд апаратного затискачу з термосигналізатором; **б** — термосигналізатор у висхідному стані; **в** — термосигналізатор після спрацювання; **1** — апаратний затискач; **2** — контактна пластина; **3** — болт з головкою; **4** — теплопровід; **5** — елемент з ефектом пам'яті форми; **6** — пластмасовий стакан; **7** — фіксатор

нем надійності, може бути створений при використанні матеріалу з ЕПФ.

Пристрій виконується як одне ціле з головкою болта, яка використовується в якості теплопровід.

На **рис. 7.а** показаний загальний вигляд пристрою, змонтованого на апаратному зажимі **1** з контактною пластиною **2**. З'єднувальний болт **3** має подовжену головку **4**, в зазорі якої розміщена пружина **5** із термочутливого сплаву з ЕПФ. Зовні теплопровід **4** має яскраве покриття, закрите ізоляційним стаканом **6**. Фіксатор **7** запобігає від небажаних переміщень стакана (**рис. 7.б**).

Працює сигналізатор таким чином. При збільшенні опору контактного переходу зажим починає перегріватися. Теплопровід **4** нагріває пружину **5**,

матеріал з ЕПФ спрацьовує, довжина пружини збільшується на 150–200%, і стакан **6** піднімається, відкриваючи теплопровід [18]. Яскраве покриття теплопровід замітне навіть в сутінках на великій відстані (**рис. 7.в**).

Після відключення електрообладнання, температура зажима знижується, матеріал з ЕПФ втрачає свої пружні властивості, але у висхідне становище самостійно не повертається. Повернення стакана **6** і стискування пружини **5** виконується експлуатаційним персоналом при виконанні ремонтних робіт.

ТЕРМОКОМПЕНСАЦІЯ СТІЛА ПРОВИСАННЯ НА ЛЕП ВИКОРИСТОВУЮЧИ МАТЕРІАЛИ З ЕПФ

Починаючи з 60-х років минулого століття відзначається можливість збільшення довжини прольоту за рахунок застосування способів і пристроїв компенсації стріла провисання проводів.

Слід зазначити, що в принципі можливе створення активних способів і пристроїв компенсації стріла провисання проводів ЛЕП. При цьому пристрої компенсації можуть реагувати не тільки на тяжіння уздовж проводу. Розрахунок і робота таких вузлів спрямованого навантаження, якими є пружини розтягування і стиснення, добре вивчені. При зменшенні тяжіння по проводу пружина скорочується, підтягуючи провід. При збільшенні тяжіння по проводу пружина збільшується. При цьому автоматично регулюється тяжіння по проводу і стріла провисання. Так працює вузол спрямованого навантаження, розташований паралельно проводу лінії електропередачі [1].

Проведений аналіз свідчить, що як правило, для усієї гами проводів в першому районі по ожеледі розрахунковий прольот визначається по провисанню проводів (стріла провисання) при $t_{\text{макс}} = 40^\circ\text{C}$.

При однакових опорах питома вартість спорудження ПЛ залежить від числа опор на 1 км довжини ліній. З другого боку, збільшення прольотів без

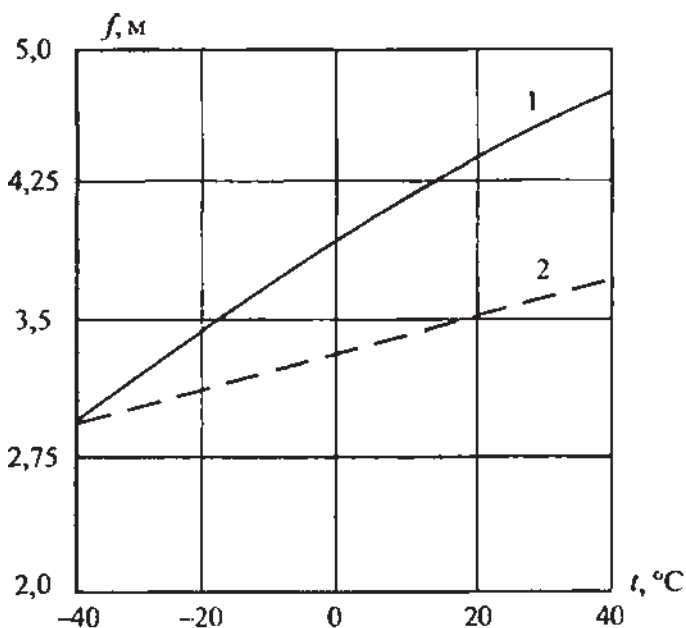


Рис. 8. Вплив термокомпенсатора на стрілу провисання проводів з компенсатором: **1** — стріла провисання проводу без компенсатора; **2** — те ж саме з компенсатором

заміни проводів можливо тільки до певної величини, збільшити яку можна застосовуючи нові конструкції опор. Збільшення висоти опор викликає непропорційні витрати матеріалів (металу, залізобетону, дерева, тощо), що призводить до росту питомої вартості.

Враховуючи те, що між температурним подовженням проводів і тяжінням в проводах має місце зворотна залежність, компенсацію температурних стріл провисання проводів можна виконати збільшуючи тяжіння в проводах при максимальній температурі [1, 13–15].

$$\sigma - \frac{\nu^2 EI^2}{24\sigma^2} = \sigma - \frac{\nu_0^2 EI^2}{24\sigma_0^2} - \alpha E(t - t_0),$$

де:

ν_0 — питоме навантаження провода в початковому стані;

t_0 — температура в початковому стані;

σ_0 — напруга в нижній точці в початковому стані;

E — модуль пружності;

α — температурний коефіцієнт лінійного подовження матеріалу провода;

l — довжина прольоту;

ν, σ, t — питоме навантаження, напруга, і температура в кінцевому стані.

На ділянці спрацьовує термокомпенсатор. При цьому збільшується тяжіння в проводі і зменшується стріла провисання. Рівняння стану провода для даного діапазону:

$$\sigma - \frac{\nu^2 EI^2}{24\sigma^2} = \sigma_0 - \frac{\nu_0^2 EI^2}{24\sigma_0^2} - \alpha E(t - t_0) - \frac{l_k \alpha_k}{l}(t - A_s),$$

де:

α_k — температурний коефіцієнт подовження термокомпенсатора.

$$\alpha_k = \frac{\varepsilon}{100 \Delta t_\Phi},$$

де:

ε — максимальне подовження (скорочення) термокомпенсатора, %;

Δt_Φ — температурний діапазон роботи термокомпенсатора.

При цьому, не порушуючи обмежень, можна зменшити стрілу провисання проводів, що в свою чергу дозволяє або збільшити прольоти, або знизити висоту опор при існуючих прольотах [1, 13...17]. Можна також підвищити пропускну здатність існуючих ПЛ, збільшуючи допустиму температуру проводів. В усіх вищезгаданих випадках існує можливість зниження витрат опор на 1 км повітряної лінії (ПЛ), лінійної арматури, ізоляторів, а також скорочуються терміни будівництва нових ліній. Враховуючи існуючі норми можна збільшити габаритний прольот ПЛ різних класів напруг на 7–10% [1, 18–23].

Термокомпенсація стріл провисання може виконуватися за допомогою активних силових елементів, що кріпляться до провода і діють на нього.

Вузол температурної компенсації складається з термочутливого елемента 1 та затискача 2 для кріплення елемента 1 до провода.

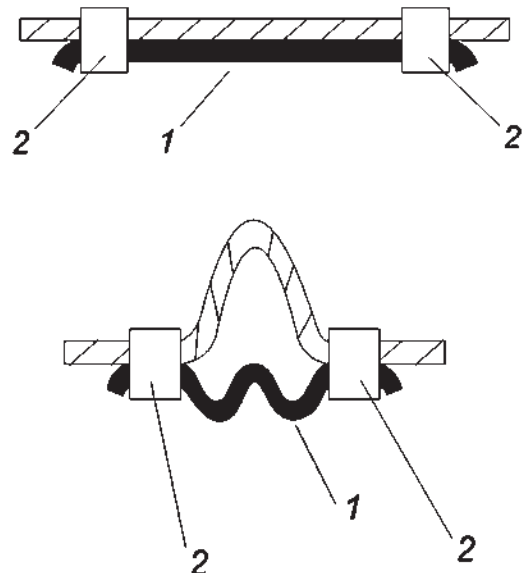


Рис. 9. Принцип роботи активного термокомпенсатора

Термочутливий елемент 1 при максимальній температурі стиснутий, напруга в проводі збільшується і стріла провисання зменшується в порівнянні з стрілою без компенсації. Якщо температура провода знижується (близько 2880K), термочутливий елемент 1 втрачає свою жорсткість і під дією тяжіння по проводу вирівнюється. При наступному підвищенні температури термокомпенсатор поновлює свою форму.

На фото (рис. 10) показаний термокомпенсатор на ЛЕП-110 кВ.

Значно більшою ефективністю і надійністю володіє термокомпенсуючий пристрій. Пристрій виконаний у вигляді тяг з'єднаних з проводом і пружинних елементів розташованих в корпусі. Корпус оснащений фланцями з лопатками, встановленими на зовнішній поверхні, а внутрішня його поверхня виконана з правим і лівим різьбленням по кінцях, тяги забезпечені головками з різьбленням, відповідної нарізі корпусу.

Вантажні термокомпенсатори широко застосовуються в мережах електротранспорту. Завдяки ним можна довести до мінімуму стрілу провисання контактного провода. Однак наявність на опорах

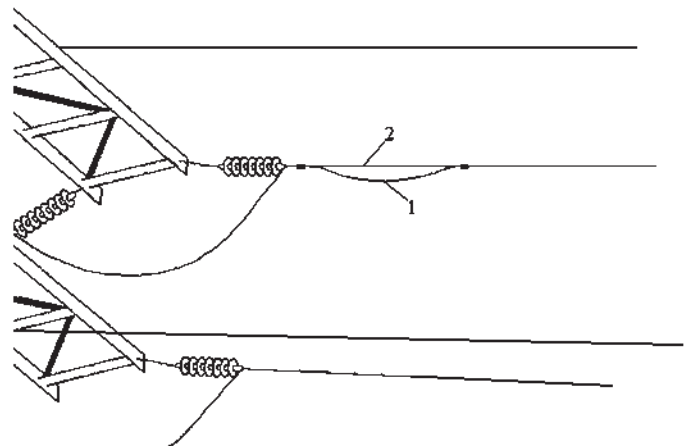


Рис. 10. Термокомпенсатор на діючій ЛЕП-110 кВ

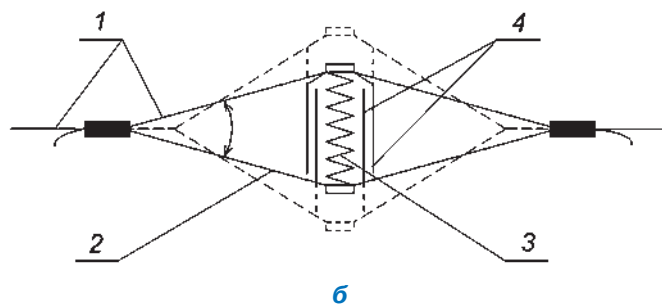
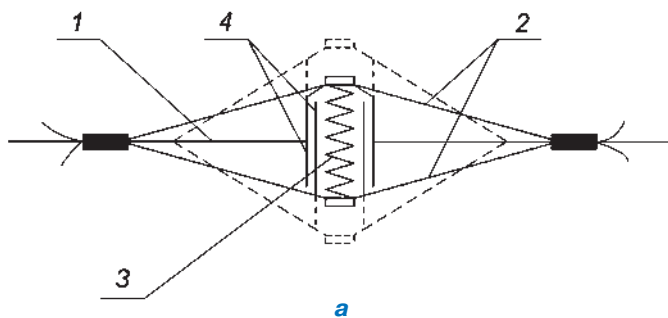


Рис. 11. Термокомпенсатор на ЛЕП напругою 10 кВ

додаткового вантажу, що має значну масу, ускладнює конструкцію опор.

Пружинні та гідропневматичні термокомпенсатори — це вузли направлених навантажень, що механічно з'єднані з проводом ПЛ. Внаслідок низької надійності ці термокомпенсатори не знайшли широкого застосування.

Створити термокомпенсуючий пристрій для ПЛ, що міг би задовольнити вимогам експлуатації, можливо лише за умови наявності елементів з негативним температурним подовженням [5–8].

Ці сплави можуть бути використані як активні термокомпенсуючі пристрої для компенсації температурних стріл провисання проводів ПЛ. При цьому теплова енергія середовища (повітря) буде перетворюватися в механічну в робочому елементі, виконаному з матеріалу з пам'яттю форми (ЕПФ), наприклад, сплав нітинол [17–23].

На рис. 11.а схематично зображений термокомпенсатор, в якому паралельно проводу 1 ЛЕП механічно закріплені відрізки проводів 2. Робочий елемент 3, виконаний з матеріалу з ЕПФ, розміщений перпендикулярно проводу 1 всередині двох телескопічних стаканів 4. Стакани 4 кріпляться до відрізків проводу 2.

Варіант термокомпенсатора по рис. 11.б відрізняється від попереднього наявністю тільки одного відрізка проводу 2. Робочий елемент із матеріалу з ЕПФ знаходиться всередині двох телескопічних стаканів 4. Причому, один стакан кріпиться до проводу 1, а другий до відрізка проводу 2.

Варіант термокомпенсатора (рис. 12) застосовується на ЛЕП із штирьовими ізоляторами. До ізолятора 1 кріпиться стакан 2. Телескопічно пов'язаний з ним стакан 3 кріпиться до проводу 4. Робочий елемент, виготовлений із матеріалу з ЕПФ, знаходиться

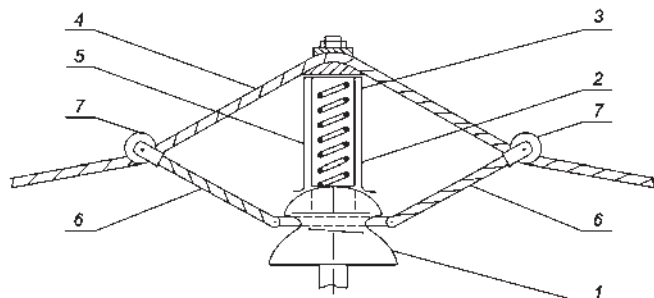


Рис. 12. Термокомпенсатор на ЛЕП з штирьовими ізоляторами

всередині стаканів. На ізоляторі 1 кріпляться також тросові відтяжки 6 з роликами 7 на кінцях. Провід 4 проходить під роликами 7.

Термокомпенсатор працює таким чином. При температурі повітря нижче мартенситної точки робочий елемент із матеріалу з ЕПФ, що знаходиться всередині телескопічних стаканів, стиснутий під дією тяжіння по проводу. При цьому сила, що діє на силовий елемент, залежить від тяжіння та кута α , що утворюється сторонами паралелограма. При підвищенні температури робочий елемент розпрямляється, поновлюючи свою форму. Діагональ паралелограма, утворена телескопічними стаканами, збільшується, провід підтягується, і стріла провисання його зменшується [13–17].

Вказаний термокомпенсатор відзначається високою надійністю конструкції, може бути використаний на ЛЕП всіх класів напруг при будь-яких опорах.

Характеристику деформацій термокомпенсатора із матеріалу з ЕПФ подано на рис. 13 при температурі початку та закінчення мартенситного перетворення відповідно $M_s \approx 282\text{K}$, $M_f \approx 278\text{K}$ і початку та закінченню зворотного мартенситного перетворення відповідно $A_s \approx 285\text{K}$, $A_f \approx 306\text{K}$. Форма кривої залежності $\Delta l_k = f(t)$ визначається швидкістю нагрівання та охолодження.

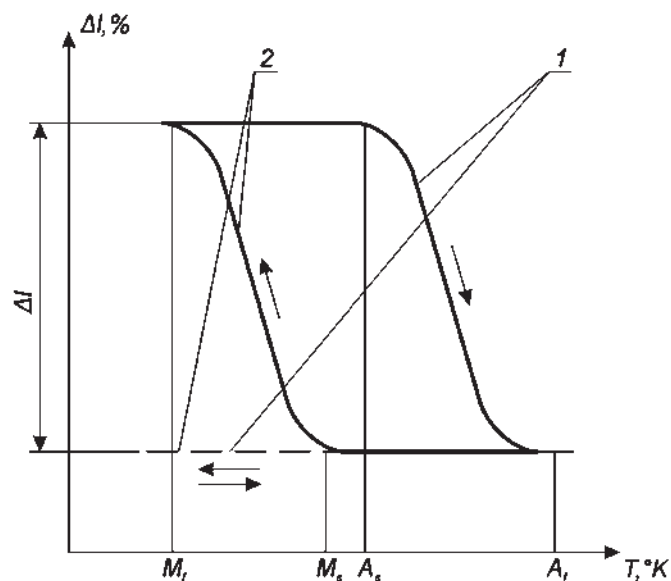


Рис. 13. Залежність деформації елемента з ЕПФ від його температури: 1 — зворотне перетворення; 2 — пряме перетворення

На величину гістерезиса впливає склад матеріалу з ЕПФ. Температура спрацювання термокомпенсатора залежить від навантаження, тобто точки для того ж самого матеріалу не є стабільними і можуть зміщуватися на декілька градусів.

При розгляданні спільної роботи провoda і термокомпенсатора, виконаного з матеріалу з ЕПФ, будемо виходити з кусочно — лінійної апроксимації робочих характеристик термокомпенсатора (рис. 13).

При підвищенні температури повітря довжина провoda збільшується, тяжіння T вздовж провoda падає — верхня половина петлі на рис. 13. Коли температура середовища досягає температури початку зворотного мартенситного перетворення термокомпенсатора, він починає змінювати свою довжину, підтягуючи провід. При подальшому збільшенні температури провід продовжує збільшувати свою довжину, а термокомпенсатор — скорочуватися.

В точці A_f термокомпенсатор повністю поновлює свою форму. При зниженні температури термокомпенсатор за рахунок наявності гістерезиса продовжує зберігати свою форму ($A_f - M_s$).

Зниження температури до точки початку прямого мартенситного перетворення (точка M_s) викликає деформацію термокомпенсатора. Тяжіння вздовж провoda в діапазоні температури від початку прямого мартенситного перетворення (точка M_s) до його кінця (точка M_f) змінюється по кривій $M_s - M_f$. При подальшому зниженні температури термокомпенсатор не приймав участь в роботі провoda і тяжіння змінюється по натуральній характеристиці [6, 7].

БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ТЕРМОКОМПЕНСАТОР СТІЛИ ПРОВИСАННЯ ПРОВODІВ ЛЕП

На рис. 14 схематично зображено термокомпенсатор, підключений до двох сусідніх прольотів [13–15].

Провід 1 повітряної ЛЕП підвішений на опорах А, Б, В. Мінімальна відстань від провoda до поверхні землі без термокомпенсатора позначено H_0 (положення 3 провoda), при наявності термокомпенсатора — H_1 (положення 2 провoda) та H_2 (положення 1 провoda).

На рис. 15 детальніше зображений даний термокомпенсатор. Термокомпенсатор 5 кріпиться до

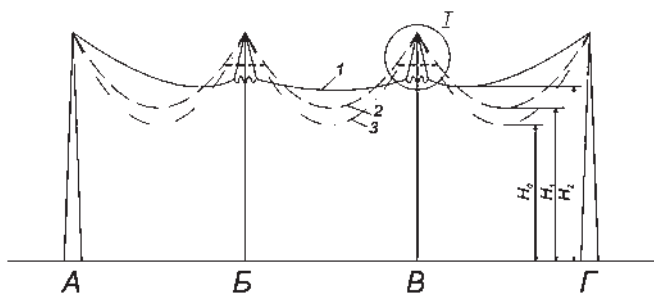


Рис. 14. Вплив термокомпенсатора на мінімальну відстань до землі: 1, 2, 3 — положення провoda при роботі термокомпенсатора

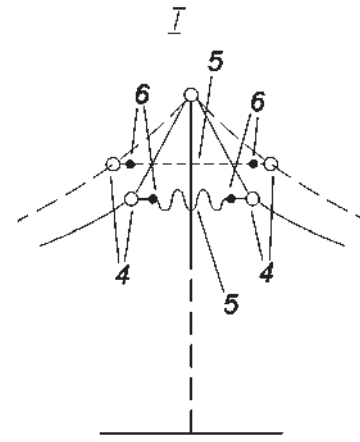


Рис. 15. Вузол кріплення термокомпенсатора: 4 — затискач; 5 — термокомпенсатор з ЕПФ; 6 — ізолятор

провoda з допомогою затискачів 4 та ізоляційних елементів 6.

Термокомпенсатор 5 при температурі, близькій до максимальної ($+40^\circ\text{C}$), знаходиться в стиснутому стані, а провід займає положення 1 (суцільна лінія). Горизонтальна складова тяжіння в провіді збільшується з T до T_1 , а стріла провисання зменшується з f_0 до f (рис. 16).

Оскільки термокомпенсатор з'єднує два прольоти провoda, зусилля яке він сприймає, обмежується тільки горизонтальною складовою тяжіння по провіді, що дозволяє суттєво знизити витрати матеріалів на термокомпенсатор. Крім того, таке кріплення термокомпенсатора завдяки гнучкому зв'язку двох сусідніх прольотів провoda надає можливість вплинути на вібрацію провoda. При цьому енергія коливання провoda в одному прольоті передається в сусідні прольоти та підсумовується там з енергією коливань цих прольотів. Оскільки передача

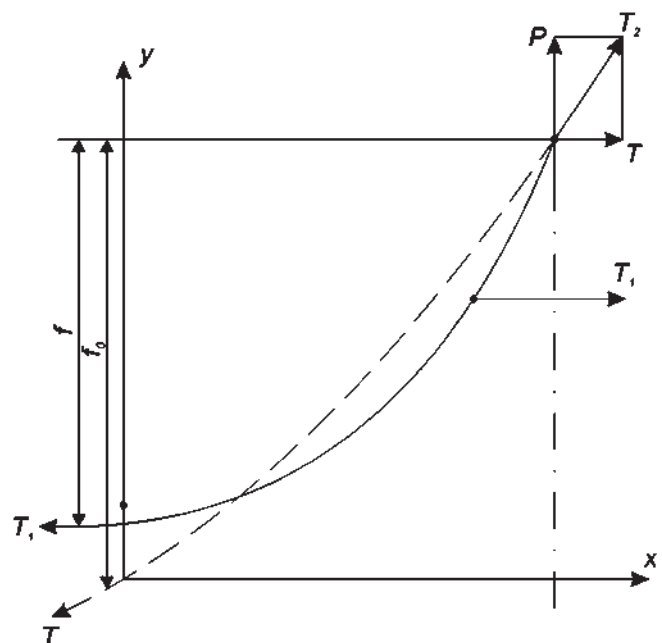


Рис. 16. Багатофункціональний термокомпенсатор стріли провисання провoda ЛЕП — розрахункова схема провoda з термокомпенсатором

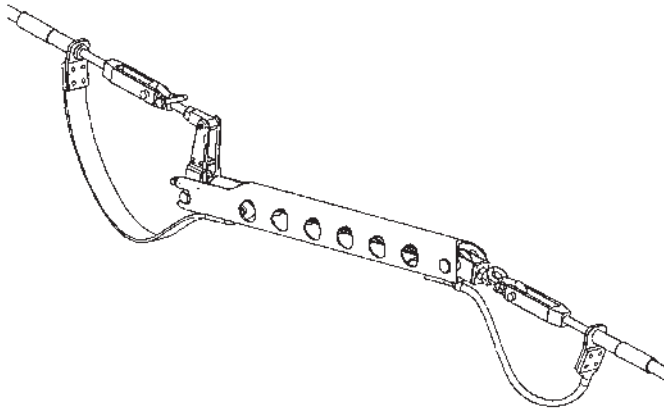


Рис. 17. Термокомпенсатор по патенту США

енергії здійснюється через гнучкий термокомпенсатор, амплітуда, частота та фаза коливань змінюються, і підсумовування таких коливань призводить до їх ослаблення. Таким чином, демпфуюча дія термокомпенсаторів аналогічна дії віброгасіїв [17–19].

При паморозі, до термокомпенсатора можна підключити додаткове джерело енергії, що знаходиться в пересувній лабораторії. Швидке нагрівання термокомпенсатора викликає його скорочення. Провід з положення 3 переходить в положення 1 (рис. 15). При цьому з провoda знімаються сніг та лід. Ізоляційні вставки 6 (рис. 16) дозволяють знизити витрати енергії на боротьбу з снігом та льодом, які накопичуються на проводах.

Для порівняння варто також привести приклад західних розробок в галузі термокомпенсації на ЛЕП — патент США US6864421B1.

На рис. 17 зображено загальний вигляд зібраного пристрою.

Працює цей пристрій фактично так само, як і вищезгадані конструкції термокомпенсаторів, від-

мінностями є наявність важільного механізму та те, що термочутливий елемент знаходиться під металевим кожухом з отворами (див. рис. 17).

Принцип роботи даного пристрою заключається в тому, що при нагріванні всієї конструкції до певної температури (температури навколишнього середовища, при якій провід стає довшим настільки, що це викликає потребу в компенсації його видовження), елемент з ЕПФ змінює свою форму (в даному випадку зменшує свою довжину), цей рух посилюється та передається через простий важіль, який підтягує провід і відповідно, робить його коротшим. При зменшенні температури навколишнього середовища до нормальних значень, елемент з ЕПФ самостійно випрямляється (під дією ваги проводів) і стає готовим до наступного циклу. Тим самим пристрій є абсолютно автономним та не потребує постійного налаштування.

ВИСНОВКИ

1. Силкові елементи на основі сплавів з ЕПФ мають суттєві переваги: меншу масу, робота в широкому діапазоні температур, незначні габарити, плавне переміщення робочих органів, меншу вартість.

2. Термочутливі елементи з ЕПФ в інтервалі робочих температур 2900–3200K підвищують чутливість елемента в 200–400 разів.

3. Приводи на основі термочутливих елементів з ЕПФ ефективні в сонячних енергоустановках.

4. Підсумувавши проведені дослідження, можна сказати, що елементи з матеріалів з ЕПФ, які перетворюють електричну або теплову енергію в механічну, є більш компактними, ефективними та економічними (з точки зору витрати матеріалу) в порівнянні з існуючими пристроями (такими як, наприклад електромагнітні приводи). Отже, матеріали з ЕПФ можуть бути широко використані в енергетиці та мають значні на це перспективи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шестеренко В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Вінниця: Нова Книга, 2011. 656 с.
2. Шестеренко В.Є. Оптимізація систем електроспоживання промислових підприємств. Київ: ЧП "Глана", 2001. 214 с.
3. Шестеренко В.Є. Електропостачання промислових підприємств. Київ, 2013. 424 с.
4. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Затверджено наказом Міністерства палива та енергетики України від 25.10.2006.
5. Шестеренко В.Є. Проектування систем електропостачання. К.: ПП "К", 2017. 436 с.
6. Shape Memory Materials, K Otsuka, CM Wayman, Cambridge University Press, 1999, p. 27.
7. Duerig TW, Pelton AR. (1994) "Ti-Ni shape memory alloys". in Materials Properties Handbook: Titanium Alloys. G. Welsch, R. Boyer, E.W. Col-lings (eds.). American Society for Metals. pp. 1035–48.
8. Ооцука К., Симицзу К., Судзуки Ю. и др. Сплавы с эффектом памяти формы. Пер. с япон. под ред. А.М. Глезера. М.: Металлургия, 1990. 225 с.
9. Малогабаритное оборудование и инструмент с силовым приводом из сплава с памятью формы, предназначенные для выполнения ремонтно-монтажных работ / В.А. Барвинок, В.И. Богданович, В.С. Феоктистов, О.В. Ломовской // Проблемы космической технологии металлов. Труды ИЭС им. Патона, 1987. С. 99–103.
10. Никелид титана и другие сплавы с эффектом памяти формы / И.И. Корнилов, О.В. Белоусов, Е.В. Качур. М: Наука, 1977, 179 с.
11. Барвинок В.А. Разработка реверсивных силовых приводов из материалов с эффектом памяти формы для устройств, применяемых в узлах расчеховки космических аппаратов / В.А. Барвинок, В.И. Богданович, О.В. Ломовской, М.А. Вишняков, А.А. Грошев // Известия Самарского научного центра РАН. Т. 13.
12. Расчет системы привода: пружина из материала с эффектом памяти формы — контрпружина / О.В. Летенков, Д.А. Филиппов // Международный научно-исследовательский журнал. № 11(53) Часть 4. Ноябрь. 2016, С. 77–81.
13. Патент на винахід № 85064 UA, H02J 3/12. — Статичний тиристорний компенсатор / Шестеренко В.Є. Бюл. № 24. Опубл. 25.12.2008.
14. Патент на корисну модель № 89092 UA, МПК H02J 3/12 — Релейний захист від електричної дуги та аварійного перегрівання елементів електроенергетичного розподільного пристрою / Шестеренко В.Є., Шестеренко О.В. Бюл. № 7. Опубл. 10.04.2014.
15. Патент на винахід № 104402 UA, МПК G01R 31/02 — Пристрій для індикації струму в окремих фазах електрообладнання / Балюта С.М., Шестеренко В.Є. Бюл. № 2. Опубл. 27.01.2014.
16. Патент на винахід № 104241 UA, МПК H01R 11/00 — Індикатор контролю перехідного опору контактів в електричних мережах / Шестеренко В.Є. Бюл. № 1. Опубл. 10.01.2014.

17. Патент на корисну модель № 83996 UA, МПК H01R 11/00 — Апаратний затискач з контролем якості контактної поверхні під напругою та струмом / Шестеренко В.Є. Бюл. № 19. Опубл. 10.10.2013.
18. Патент на винахід № 92091 UA, H01R 11/00. — Семафорно — світловий індикатор нагрівання струмоведучих елементів та контактних з'єднань технологічних апаратів / Українець А.І., Шестеренко В.Є. Бюл. № 18. Опубл. 27.09.2010.
19. Патент на корисну модель № 45274 UA, H02 J 3/12. — Спосіб очищення проводів ЛЕП від снігу та льоду / Шестеренко В.Є., Балюта С.М., Машенко О.А., Овчинников О.В. Бюл. № 21. Опубл. 10.11.2009.
20. Патент на корисну модель № 45784 UA, H01 R 11/00. — Магніторідинний контакт / Шестеренко В.Є. Бюл. № 22. Опубл. 25.11.2009.
21. Патент на корисну модель № 47222 UA, H02 J 3/12. — Спосіб реєстрації напруги на елементах апаратів / Українець А.І., Шестеренко В.Є. Бюл. № 2. Опубл. 25.01.2010.
22. Патент на винахід № 84313 UA, G01K 1/14. — Індикатор критичного підвищення температури корпусу апарата / Українець А.І., Шестеренко В.Є. Бюл. № 19. Опубл. 10.10.2008.
23. Патент на корисну модель № 17994 UA, F03G 7/06. — Термопривод клапана трубопроводу / Українець А.І. Шестеренко В.Є. Бюл. № 10. Опубл. 16.10.2006.



МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК НАПЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ И ВЫШЕ

А.М. Манилов, С.А. Товстук

В монографии представлены материалы, касающиеся повышения надежности защиты трансформаторов, генераторов, электродвигателей, линий, шин и автоматики путем усовершенствования проектируемых, реконструируемых и существующих электроустановок. Исследования базируются на анализе опыта проектирования и эксплуатации релейной защиты и автоматики электроустановок до 1 кВ и выше.

В монографии приведены:

- схемы, обеспечивающие действие токовой отсечки при КЗ в любом месте трансформатора, защиты при КЗ и ОЗЗ в любом месте электродвигателя;
- схемы, повышающие чувствительность защит трансформаторов, линий, электродвигателей;
- защиты шкафов и шин КРУ, действующие при ОЗЗ до перехода в КЗ.

Схемные решения направлены на увеличение быстроты срабатывания, например, МТЗ трансформатора. Повышение чувствительности и уменьшение времени срабатывания обеспечивается логической блокировкой, действующей при внешнем КЗ.

Также приведены обоснования необходимости релейной защиты трансформатора с выключателем нагрузки и предохранителем в его цепи для обеспечения термической устойчивости трансформатора, защита от обрыва фазы с падением или без падения провода на землю, защиты на солнечных электростанциях с учетом того, что токи КЗ и токи генерации соизмеримы, схемы дальнего резервирования в сетях до и выше 1 кВ, способы исключения пожаров при КЗ в сети до 1 кВ, схемы блокировки включения электродвигателя на короткое замыкание в нем, схема защиты трансформатора тока от повреждения при обрыве в токовых цепях, а также ряд других схем. Схемы могут быть выполнены с использованием любой элементной базы.

Монография включает следующие разделы:

1. Защита трансформаторов.
2. Защита от коротких замыканий воздушных и кабельных линий в сетях напряжением 6 кВ и выше.
3. Защита от однофазных замыканий на землю и от разрыва фаз в сетях напряжением 6–35 кВ.
4. Альтернативные источники электроэнергии.
5. Защита шин и шкафов напряжением выше и до 1 кВ.
6. Защита электродвигателей и генераторов.
7. Защита от коротких замыканий в сетях напряжением до 1 кВ.
8. Общие вопросы.

**НАБЛИЖАЄМО ЕНЕРГЕТИКУ
МАЙБУТНЬОГО СЬОГОДНІ**

**ХVІІІ МІЖНАРОДНА
СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА
ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ, ЕКОЛОГІЇ,
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ**

13 – 15 жовтня



**EcoEnergy
Expo'2026**



Місце проведення:
МВЦ, м. Київ,
Броварський пр-т, 15,
станція метро «Лівобережна»

Контакти:

 **+38 (095) 268-05-84**
 **lyudmila@iec-expo.com.ua**
 **www.iec-expo.com.ua**





X МІЖНАРОДНА
СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА
**MINING &
MINERALS EXPO**



13–15 ЖОВТНЯ 2026

**ТЕХНОЛОГІЇ, ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ДЛЯ
ГІРНИЧОДОБУВНОЇ ТА ВУГІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**



Місце проведення:
МВЦ, м. Київ,
Броварський пр-т, 15,
станція метро «Лівобережна»

Контакти:



+ 38 (066) 921-47-51

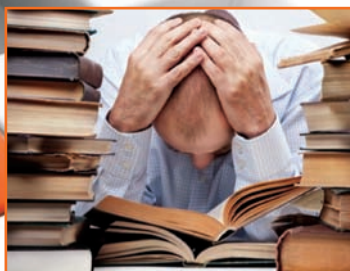


sher@iec-expo.com.ua



www.iec-expo.com.ua





С.В. Облакевич,
головний фахівець
**ТОВ «Український
інститут сталевих
конструкцій імені
В.М. Шимановського»**

Надійшла
Received **05.05.2026**

МАЙБУТНЄ ВЖЕ ЗАРАЗ — ПРОЄКТ ДБН В.2.5-XX:202X — ПРОЄКТУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

Згідно даних IRENA (International Renewable Energy Agency) на сьогодні встановлена потужність фотоелектричних станцій (ФЕС) в Європі складає 260 ГВт, що значною мірою пояснюється спільною політикою Євросоюзу стосовно вимог до відновлювальних джерел енергії. Наприклад директива ЄС 2024/1275 регламентує, що держави-члени забезпечують розміщення відповідних ФЕС:

- до 31 грудня 2026 року для всіх новобудов громадських та нежитлових будівель з корисною площею понад 250 м²;
- на всіх існуючих громадських будинках з корисною площею більше:
 - 2 000 м² до 31 грудня 2027 року;
 - 750 м² до 31 грудня 2028 року;
 - 250 м² до 31 грудня 2030 року;
- до 31 грудня 2027 року щодо існуючих нежитлових будівель з корисною площею понад 500 м², у яких проводиться капітальний ремонт або реконструкція;
- до 31 грудня 2029 року на всі житлові будівлі які будуються;
- до 31 грудня 2029 року на всіх нових критих паркувальних майданчиках.

При цьому, в 2025 році в Україні встановлена потужність ФЕС склала всього 1,3 ГВт (данні Ecotech Ukraine), не дивлячись на багаточисельні заяви і програми розвитку геліоенергетики органами держуправління. Але питання наявності норм Проектування ФЕС при цьому не є пріоритетом, що безумовно стримує розвиток галузі. Дивовижно, що це взагалі відбувається, оскільки в Україні крім стандарту ДСТУ 8635:2016 щодо вибирання майданчиків для будівництва ФЕС та правил приєднання до електроенергетичної системи, інші норми з Проектування та розрахунку параметрів ФЕС відсутні.

Цей огляд — стислий розгляд Проекту нової норми з Проектування ФЕС в Україні, який, як ми сподіваємось, зможе закрити прогалину з відсутністю необхідних Проектувальникам норм і правил.

ВСТУП

Проект Державних будівельних норм (ДБН), присвячений Проектуванню фотоелектричних станцій та установок, з'явився у період глибокої структурної та технологічної трансформації об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України. Історично вітчизняний сектор відновлюваної енергетики розвивався за рахунок швидкого комерційного масштабування, яке часто випереджало формування профільної нормативно-технічної бази.

Представлений Проект нормативного документа є першою успішною спробою консолідувати розрізнені інженерні практики, будівельні стандарти та правила безпеки напрацьованні міжнародною науковою та інженерною спільнотою Міжнародної електротехнічної комісії (ІЕС) за останні десятиріччя в єдиний документ. Його поява є критично важливою не лише для врегулювання ринку промислової генерації, а й



для захисту прав та безпеки сектору малих споживачів (активних споживачів або “просьюмерів”), який стрімко зростає в умовах децентралізації енергосистеми спричинене сучасними викликами. Документ створює чітку систему координат для всіх учасників процесу — від інженерів-розробників та інспекторів технічного нагляду до операторів систем розподілу (ОСР) та підрозділів Державної служби з надзвичайних ситуацій (ДСНС).

Головною перевагою Проєкту ДБН є його логічна архітектура, побудована за принципом наскрізного супроводу об'єкта протягом усього його життєвого циклу. Структура документа успішно поєднує два фундаментальні інженерні блоки: архітектурно-будівельний та електротехнічний. Такий підхід усуває поширену проблему, коли будівельна частина Проєкту розробляється ізольовано від параметрів електричних мереж, що згодом призводить до конструктивних помилок (наприклад, перевантаження покрівель або виникнення гальванічної корозії).

З точки зору регуляторної політики, Проєкт ДБН робить величезний крок назустріч бізнесу та девелоперам, закріплюючи статус ФЕС як повністю екологічно безпечних об'єктів. Разом з тим, документ демонструє відповідальний підхід до концепції сталого розвитку, впроваджуючи обов'язковість цивілізованого рециклінгу та утилізації фотомодулів після завершення їхнього терміну експлуатації.

НОРМАТИВНО-ПРАВОВИЙ ЗМІСТ ТА ФІЛОСОФІЯ СТВОРЕННЯ ДБН

Цей документ є Проєктом комплексного будівельних норм (або національного стандарту), який встановлює єдині, юридично обов'язкові до виконання інженерні, архітектурні, технологічні та безпекові вимоги до Проєктування, влаштування, монтажу, маркування та технічного обслуговування фотоелектричних станцій (ФЕС) і фотоелектричних установок (ФЕУ) на території України.

Головною метою створення цього документа є переведення локальних, часто інтуїтивних чи кустарних інженерних практик у чітко контрольоване державою правове та технічне поле, повністю гармонізоване з передовими міжнародними нормативами.

В основу покладено чинні будівельні норми України (ДБН), правила улаштування електроустановок (ПУЕ), при цьому ці норми не скасовує існуючі правила електробезпеки, а доповнює їх під специфіку постійного струму сонячної генерації, з урахуванням міжнародних та європейських стандартів Міжнародної електротехнічної комісії (IEC) та Європейського комітету з електротехнічної стандартизації (EN). Зокрема, документ активно спирається на базові принципи серій ДСТУ IEC 60364 (щодо безпеки та улаштування електроустановок будівель), ДСТУ EN 61724 (який детально регламентує класифікацію та методи моніторингу продуктивності фотоелектричних систем) та ДСТУ EN 62305 (комплексний стандарт із захисту споруд та обладнання від прямих і наведених ударів блискавки).

Створення такого стандарту обумовлене стрімким розвитком децентралізованої відновлюваної

енергетики та необхідністю забезпечити тривалий термін експлуатації сонячних електростанцій (понад 20–25 років) без втрати їхньої структурної міцності та електричної безпеки. Стандарт усуває нормативний вакуум і є головним настільним документом для профільних інженерів-Проектувальників, сервісних компаній, архітекторів, інспекторів технічного нагляду, пожежних служб та операторів систем розподілу електроенергії.

РОЗГОРНУТИЙ СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ РОЗДІЛІВ ДОКУМЕНТА

Документ побудований за суворою та логічною ієрархічною схемою, яка послідовно охоплює повний життєвий цикл об'єкта сонячної генерації — від первинного просторового та генерального планування ділянки до фінальних пусконаладжувальних робіт, режимів експлуатації та правил безпечної утилізації відпрацьованого обладнання. Структура збалансована таким чином, щоб інженер міг крок за кроком пройти всі етапи Проєктування без ризику пропустити критично важливі суміжні зв'язки між будівельною та електричною частинами Проєкту. Такий підхід надає молодим фахівцям опору, та суттєво скорочує час на розробку, зменшує ймовірність конфліктів у промисловості.

Наведемо структурний опис ДБН.

Передмова та Вступ. Окреслюють передумови створення стандарту, визначають мету розробки нормативної бази та описують основні методологічні підходи, використані для адаптації міжнародних вимог до специфіки кліматичних та інфраструктурних умов України.

Розділ 1. Сфера застосування. Чітко окреслює межі дії цих норм. Регламент поширюється на всі типи фотоелектричних систем, незалежно від їхньої потужності та форми власності — від приватних домашніх мікрогенерацій на дахах до гігантських промислових наземних станцій, що відпускають енергію безпосередньо в магістральні мережі.

Розділ 2. Нормативні посилання. Являє собою масштабний інтеграційний перелік суміжних державних і міжнародних стандартів. Будь-яке Проєктування ФЕС не може відбуватися ізольовано, тому цей розділ пов'язує сонячну енергетику з нормами промисловості, правилами капітального будівництва, пожежної охорони та загальними стандартами енергосистем.

Розділ 3. Терміни, визначення понять та скорочення. Фундаментальний інженерно-правовий глосарій. Він усуває будь-які подвійні трактування в технічній документації та судах, чітко визначаючи такі дефініції, як ФЕБ (фотоелектрична батарея як сукупність ланцюгів), ФЕМ чи ФЕП (окремий фотоелектричний модуль/панель), УПЕ (устаткування перетворення енергії, включаючи інвертори), а також BESS (буферні системи акумулятивного накопичення енергії).

Розділ 4. Загальні положення. Базова матриця класифікації сонячних електростанцій за технічними, конструктивними та комерційними ознаками. Крім того, цей розділ встановлює обов'язковий мінімальний перелік безпекових рішень (захист від струму,

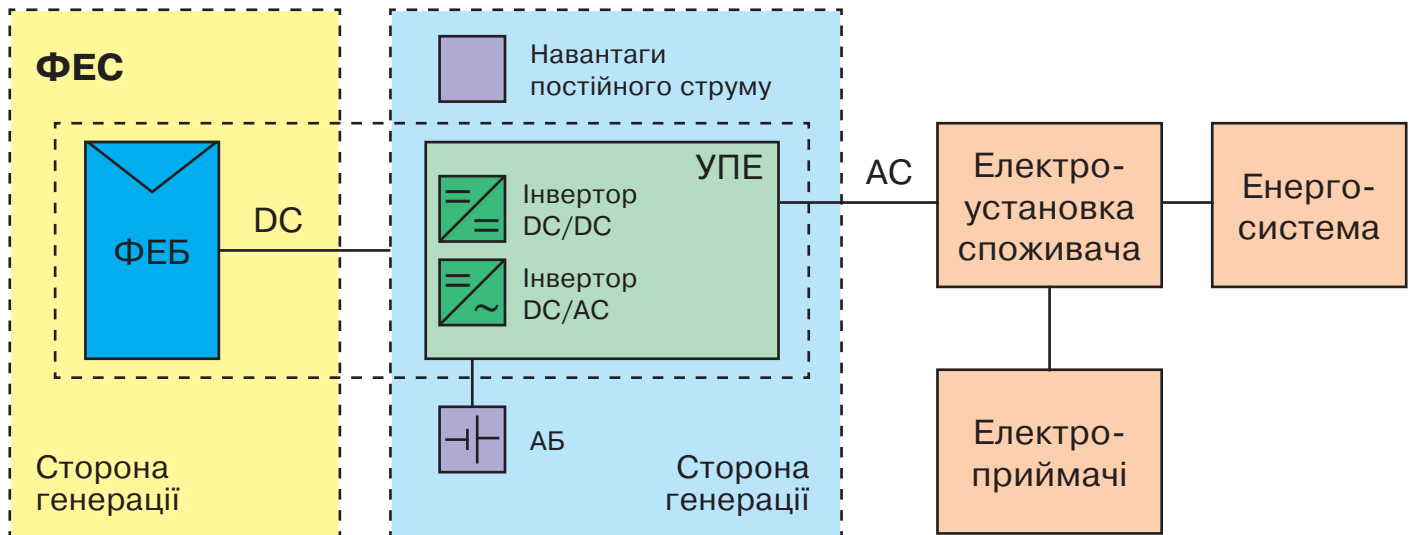


Рис. 1. Функціональна структура та межі фотоелектричної системи

дуги, землі), які інженер зобов'язаний закласти у Проект ще на стадії ескізу.

Розділ 5. Генеральний план. Регламентує правила просторового розміщення великих наземних ФЕС. Тут описуються вимоги до компонування генплану з метою досягнення максимальної щільності генерації при мінімальних витратах землі, правила Проектування внутрішніх та під'їзних автодоріг, розташування пунктів охорони та сервісних корпусів. Особлива увага приділяється географічному розташуванню трансформаторних підстанцій та пунктів керування в геометричному центрі полів для зниження кабельних втрат.

Розділ 6. Архітектурно-будівельні рішення. Описує вимоги до фізичної міцності ФЕС. Розділ зобов'язує проводити інженерно-геологічні вишу-

кування перед вибором фундаментів (пальових, заглиблених чи баластних дахових), а також розраховувати опорні металоконструкції на екстремальні вітрові та снігові навантаження згідно з кліматичним зонуванням України. Окремо розглядаються заходи щодо запобігання електрохімічній корозії між різнорідними металами (наприклад, алюмінієвою рамою панелі та сталевим профілем конструкції). Сюди ж входять нормативи для дахових систем та систем, повністю інтегрованих у фасади будівель (BIPV).

Розділ 7. Технологічна частина. Присвячений математичному моделюванню очікуваної генерації та моніторингу. Описує вплив азимуту та кутів нахилу на профіль виробітку енергії, а також класифікує системи моніторингу за точністю вимірювань

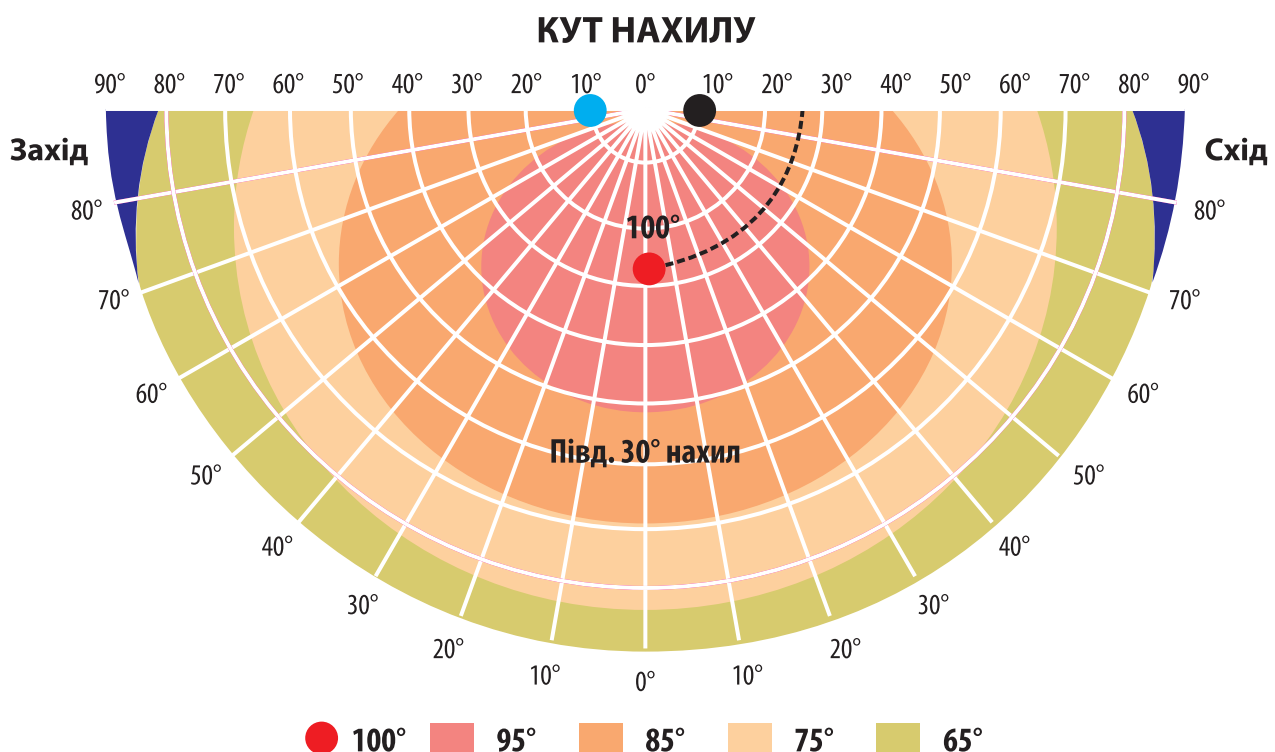


Рис. 2. Геометричні параметри Проектування: діаграма кутів нахилу сонячної батареї

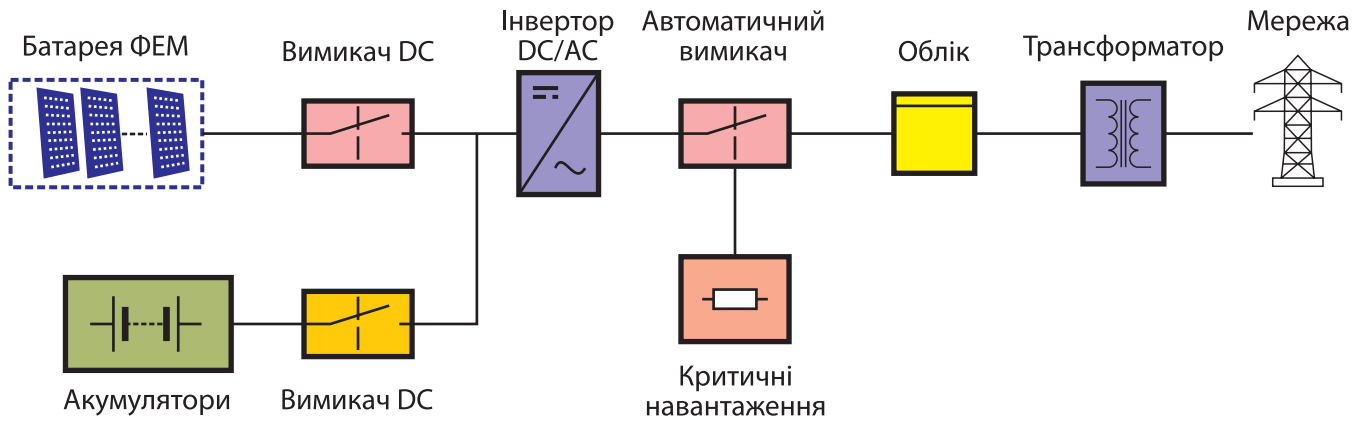


Рис. 3. Принципова однолінійна схема електричних з'єднань, комутації та захисту обладнання ФЕС

(Класи А, В, С), визначаючи необхідний набір датчиків (температури, швидкості вітру, сонячної інсоляції тощо).

Розділ 8. Електротехнічна частина. Найбільший та найскладніший розділ. Він повністю описує топологію кіл постійного та змінного струму, конфігурації підключення панелей до інверторів, методи розрахунку екстремальних напруг та струмів, захист від блискавок, імпульсних перенапруг, релейний захист, автоматику відключення від мережі при аваріях та інтеграцію акумуляторних систем.

Розділ 9. Монтаж. Технологічна інструкція для будівельних та монтажних організацій, яка визначає суворий покроковий порядок розгортання та комутації елементів станції на майданчику для виключення пошкодження обладнання під час робіт.

Розділ 10. Пожежна безпека. Визначає категорію пожежної небезпеки об'єктів ФЕС, вимоги до вогнестійкості матеріалів, кабельних ліній та правила забезпечення безпечної роботи пожежних бригад у разі займання.

Розділ 11. Оцінка впливу на навколишнє середовище (ОВНС). Екологічний блок, який регламентує відсутність шкідливих викидів під час експлуатації та закладає основи для подальшої екологічної переробки та рециклінгу компонентів станції після завершення її життєвого циклу.

Додатки та Бібліографія. Містять порівняльні таблиці різних типів інверторів, готові інженерні схеми захисту та посилання на законодавчі акти України (наприклад, Закон "Про ринок електричної енергії").

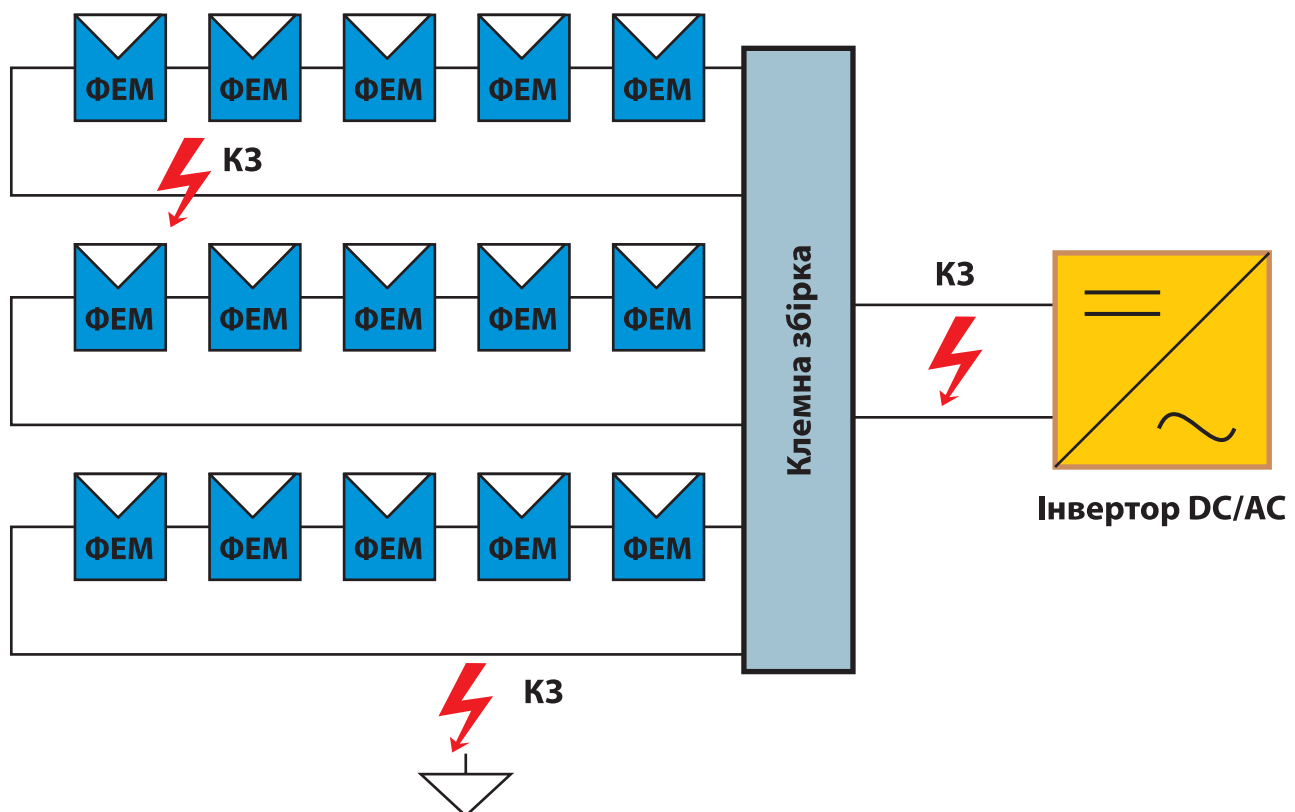


Рис. 4. Схема виникнення різних типів електричної дуги (послідовної, паралельної та на землю) на стороні постійного струму ФЕС

У ДБН вперше вводиться повна розгорнута класифікація фотоелектричних систем.

Документ пропонує глибоку та всебічну класифікацію ФЕС за сімома незалежними інженерними та експлуатаційними критеріями, що дозволяє чітко категоризувати будь-який об'єкт та визначити обсяг необхідних експертиз і узгоджень:

1. За встановленою піковою електричною потужністю:

- *Малі фотоелектричні системи:* Об'єкти з установленою номінальною потужністю постійного струму до 50 кВт включно. Це категорія приватних домогосподарств, малих офісів, фермерських господарств. Проектування таких систем максимально спрощене.

- *Середні фотоелектричні системи:* Потужність варіюється від 50 кВт до 1000 кВт (1 МВт) включно. Сюди відносяться комерційні дахові станції торгових центрів, фабрик, заводів, складських комплексів, призначені для компенсації власного споживання або продажу енергії.

- *Великі фотоелектричні системи:* Промислові об'єкти енергогенерації з піковою потужністю понад 1 МВт. Це масштабні наземні сонячні поля (solar farms), що підключаються до високовольтних ліній передач та мають статус електростанцій.

2. За режимом взаємодії з розподільними мережами та енергосистемою:

- *Автономні ФЕС:* Системи, які працюють повністю ізольовано. Вони не мають фізичного підключення до ліній оператора системи розподілу. Вся енергія споживається на місці або накопичується в локальних акумуляторах. Використовуються у віддалених регіонах або як резерв зв'язку.

- *Мережеві ФЕС (On-Grid):* Працюють виключно в паралельному режимі із централізованою енергосистемою. Вони використовують частоту та напругу зовнішньої мережі як опорну. У разі зникнення напруги в мережі (аварія на лінії) такі станції автоматично вимикаються з міркувань безпеки.

- *Мережеві інтерактивні ФЕС (Гібридні):* Сучасні інтелектуальні системи, які підключені до мережі, але мають власні накопичувачі ресурсу. Вони здатні працювати паралельно з енергосистемою, а в разі аварії миттєво відсікати зовнішню лінію та переходити в автономний режим ("острівний"), забезпечуючи безперебійне живлення об'єкта.

3. За архітектурно-просторовим способом розміщення фотомодулів:

- *Наземні:* Монтуються на відкритому ґрунті. До цієї ж категорії стандарт відносить сонячні навіси (карпорти) над автомобільними парковками, де конструкція виконує подвійну функцію.

- *Дахові:* Розміщуються на похилих чи плоских покрівлях будівель, використовуючи спеціальні притискні кріплення або баластні системи без пошкодження гідроізоляційного шару даху.

- *Інтегровані в будівлі (BIPV):* Технологія, за якої сонячні панелі замінюють собою традиційні будівельні матеріали. Вони стають частиною скління фасадів, сонцезахисними козирками, атріумами або безпосередньо покрівельним матеріалом (сонячна черепиця).

4. За типом системи стеження за геометрією сонячного проміння:

- *Стационарні:* Панелі нерухомо закріплені на опорних конструкціях під одним фіксованим кутом (оптимальним для літа, зими чи середньорічним). Найдешевша і найнадійніша конструкція.

- *Рухомі (динамічні/трекерні):* Обладнані електроприводами та датчиками. Поділяються на одноосові системи автоматичного або механічного коригування кута нахилу (зміна кута кілька разів на сезон), одноосові системи відстеження азимуту (панелі повертаються за сонцем зі сходу на захід протягом дня) та двовісні системи (автоматично коригують і азимут, і кут нахилу, забезпечуючи ідеальну перпендикулярність променів).

5. За внутрішньою структурою електричного з'єднання з інверторами:

- *З центральним інвертором:* Всі ланцюги сонячного поля через проміжні розподільчі DC-шафи зводяться до одного надпотужного центрального інвертора. Застосовується на великих наземних ФЕС.

- *З паралельно працюючими інверторами ланцюгів (стрінговими):* Сонячне поле ділиться на сектори, кожен з яких підключається до окремого інвертора середньої потужності. Це підвищує живучість станції та оптимізує виробіток при частковому затінненні.

- *З мікроінверторами (модульними):* Кожна сонячна панель (або пара панелей) має свій маленький інвертор на зворотному боці. Максимально ефективна, але найдорожча топологія.

6. За наявністю буферного накопичувача електричної енергії:

- *ФЕС з акумуляторною системою накопичення (BESS):* Об'єкти, що мають у своєму складі літій-іонні, залізо-фосфатні або інші типи АКБ високої ємності.

- *ФЕС без систем накопичення.*

7. За моделлю та метою використання виробленого ресурсу:

- *Для комерційного продажу ресурсу за "зеленим" тарифом чи через систему державних/комерційних енергетичних аукціонів.*

- *Для забезпечення виключно власного технологічного чи побутового споживання об'єкта (із обов'язковим встановленням автоматики обмеження експорту в мережу).*

- *Балансуючі ФЕС:* Станції, головним завданням яких є оперативне згладжування дисбалансів в енергосистемі за командою диспетчера.

Створено стандартизовану методологію прогнозування генерації, моделювання, просторового Проектування.

Нормативний документ впроваджує єдиний та обов'язковий для інженерів підхід до математичного прогнозування обсягів майбутнього виробництва електричної енергії сонячними станціями. Оцінка потенційної продуктивності об'єкта не може базуватися на випадкових чи усереднених даних; вона повинна спиратися на верифіковані багаторічні метеорологічні спостереження сонячної інсоляції,

зафіксовані для конкретної географічної координати майданчика будівництва.

У документі детально описується дві моделі розрахунку прогнозованого виробітку.

Перша, базова модель, застосовується за наявності даних щодо глобального горизонтального сонячного опромінення. Вона враховує річну зміну інтенсивності світлового потоку, що падає на похилу поверхню фотоелектричного модуля під певним кутом, відносно пласкої горизонтальної земної поверхні.

Друга, спрощена модель, використовується тоді, коли Проектувальник уже має готові масиви даних щодо глобального нахилоного опромінення для обраної площини.

В обох випадках ключовими змінними, які безпосередньо впливають на фінальний розрахунковий показник енергії, є загальна фізична площа фотоелектричного поля, номінальний коефіцієнт корисної дії самих напівпровідникових осередків та інтегральний коефіцієнт фактичної продуктивності системи. Щоб мінімізувати похибки, викликані складністю ручного моделювання, стандарт настійно рекомендує інженерам використовувати сертифіковане обчислювальне програмне забезпечення та міжнародні бази даних, такі як європейська географічна система PVGIS, Глобальний сонячний атлас або калькулятор PVWatts.

У ДБН враховано комплексну структуру технічних втрат та фізика деградації кремнію

Нормативи базуються на принципі, що реальна вихідна потужність сонячної станції в процесі експлуатації завжди буде нижчою за номінальну сумарну потужність панелей. Це обумовлено коефіцієнтом продуктивності системи, який відображає **три основні групи технічних втрат**:

1. Втрати в компонентах постійного струму (DC-втрати): Проектувальник зобов'язаний закласти у розрахунки неминучі втрати енергії, які виникають через природне накопичення пилу та бруду на поверхнях модулів, випадкове чи планове затінення від рельєфу місцевості або будівель, дерев, а також електричний опір у кабельних лініях та штепсельних роз'ємах. Додатково враховується фактор неузгодженості параметрів (mismatch) — дрібні відхилення в напрузі та струму між різними панелями в одному ланцюзі, пов'язані з заводськими допусками та нерівномірним старінням кремнію.

2. Температурні втрати ефективності: Напівпровідникові фотоелектричні елементи мають чітку

залежність ефективності від робочої температури. Оскільки сонячні панелі влітку під дією прямого випромінювання нагріваються значно сильніше за навколишнє повітря (іноді різниця становить понад 40°C), їхній фактичний ККД динамічно знижується. Стандарт вимагає враховувати температурні коефіцієнти максимальної потужності, які надаються заводами-виробниками, а також вплив швидкості та напрямку вітру, що забезпечує природне охолодження конструкцій.

3. Фізичні процеси довгострокової деградації: Стандарт описує три основні внутрішні загрози для кремнієвих структур, які призводять до незворотного падіння генерації з роками.

Перший процес — це LETID, тобто деградація, що активується одночасною дією інтенсивної сонячної радіації та високих температур.

Другий — LID, класична світлова деградація кремнію, яка запускається в перші ж місяці опромінення панелі.

Третій — PID, деградація, викликана високою різницею потенціалів. Останній процес є найбільш підступним, оскільки через витік мікрострумів між кремнієвим осередком та заземленою металевою рамою модуля через захисне скло відбувається поступове руйнування структури напівпровідника. Для усереднених інженерних розрахунків річний рівень загальної деградації панелей приймається на рівні півтора відсотка.

Норматив встановлює великий комплекс єдиних вимог.

Система інженерного порівняння стратегій орієнтації: “Південь” проти системи “Схід–Захід”.

Вибір просторового розташування фотоелектричного поля є ключовим етапом Проектування, який повністю залежить від економічної моделі та призначення майбутньої станції:

- **Класична південна стратегія:** Розміщення сонячних батарей із суворою орієнтацією на південь під оптимальним фіксованим кутом до горизонту дає змогу отримати максимально можливу абсолютну кількість кіловат-годин протягом року. Цей підхід є єдино правильним для комерційних мережевих ФЕС, головне завдання яких — продаж усього обсягу згенерованої енергії за “зеленим” тарифом або через систему аукціонів. Однак південна орієнтація має серйозний мінус: вона генерує різкий і вузький пік потужності в полудень, а також вимагає значних технологічних відступів між рядами конструкцій на

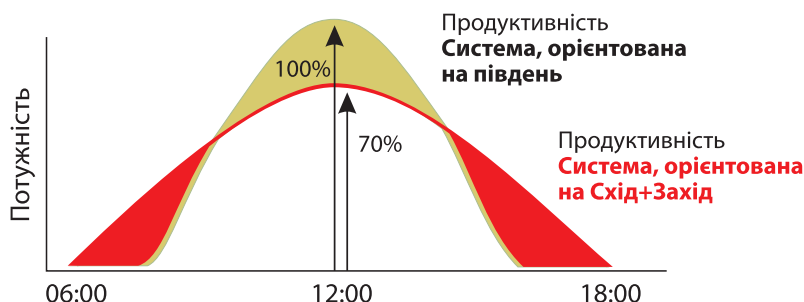


Рис. 5. Порівняльний графік добового профілю генерації ФЕС залежно від просторової орієнтації модулів

майданчику, щоб похилі панелі не затіняли одна одну під низьким зимовим сонцем.

- *Комбінована стратегія “Схід–Захід”*: Передбачає монтаж панелей у протилежні сторони з невеликим кутом нахилу, який зазвичай не перевищує 15 градусів. Ця конфігурація рекомендована для автономних або інтерактивних станцій промислових підприємств, де вироблена енергія споживається об’єктом самостійно без продажу в мережу.

- *Переваги*: графік генерації стає набагато ширшим і рівномірнішим (станція починає працювати раніше вранці та закінчує пізніше ввечері, уникаючи непотрібного полудневого перевиконання потужності). На ту саму площу землі або плоского даху вдається встановити значно більше панелей за рахунок відсутності широких міжрядних проміжків. Крім того, такий монтаж різко знижує парусність (вітрове навантаження) всієї системи, що дає можливість монтувати станції на дахах з використанням легких баластних конструкцій без анкерного свердління покрівлі.

Оптимальна електротехнічна побудова та геометрія ланцюгів ФЕС.

Формування послідовних ланцюгів сонячних панелей (стрінгів) регулюється жорсткими температурними обмеженнями, оскільки вольтамперні характеристики кремнію безпосередньо залежать від кліматичних умов.

1. Кліматичні обмеження напруги. При визначенні кількості сонячних модулів у кожному ланцюзі інженер зобов’язаний розраховувати два екстремальні режими експлуатації:

- *Режим екстремального зимового холоду*: При падінні температури повітря напруга холостого ходу кремнієвих елементів починає стрімко зростати. Проектувальник повинен врахувати максимальну можливу напругу ланцюга за найнижчої історичної температури, зафіксованої в даній місцевості. Отримане значення не має за жодних умов перевищити максимальну вхідну напругу, яку здатна витримати електроніка інвертора, інакше відбудеться її миттєвий пробій та вихід з ладу. Крім того, номінальна напруга всієї супутньої DC-апаратури (кабелів, з’єднувачів, вимикачів) повинна бути вищою за це зимове значення.

- *Режим екстремальної літньої спеки*: При нагріванні кремнію робоча напруга панелей падає. Інженер повинен перевірити, щоб за максимального літнього перегріву елементів сумарна напруга ланцюга під навантаженням не опустилася нижче мінімального порогу роботи інвертора. Якщо це станеться, інвертор просто вийде з режиму пошуку точки максимальної потужності (MPPT), і станція втратить працездатність у найсонячніший період року.

2. Обмеження по струму короткого замикання. Струм короткого замикання модулів також коригується залежно від максимальної очікуваної температури сонячного осередку. Розраховане максимальне значення струму стрінга є базовим критерієм для підбору перерізу провідників, а також номіналів захисних запобіжників та автоматичних вимикачів. Сумарний струм від усіх підключених ланцюгів не повинен перевищувати технічні обме-

ження по вхідному струму для кожного окремого MPPT-трекера інвертора.

3. Електробезпека, заземлення та релейний захист. Електроустановки сонячної генерації мають унікальну особливість: сторону постійного струму неможливо просто вимкнути кнопкою — доки на панелі падає світло, вони генерують небезпечну для життя напругу, навіть якщо станція повністю відключена від зовнішньої мережі змінного струму або самого інвертора.

Комплекс захисних заходів на DC-стороні ФЕС включає:

- *Основний захист від прямого дотику*: Головним інструментом захисту людини є суворе використання на всьому протязі DC-кіл (від висновків панелей до вхідних клем інвертора) обладнання та проводки з подвійною або посиленою ізоляцією, що відповідає класу безпеки II. Створення контурів захисного заземлення безпосередньо для робочих струмоведучих DC-провідників суворо заборонено. Виняток становлять системи низької напруги (до 60 Вольт), де безпека забезпечується системою БННН/ЗННН.

- *Постійний контроль опору ізоляції*: Станція повинна бути оснащена автоматичним пристроєм контролю ізоляції. Цей блок зобов’язаний проводити ретельне вимірювання опору ізоляції DC-кіл відносно землі безпосередньо перед кожним ранковим запуском інвертора у роботу, а також безперервно повторювати цей тест щонайменше один раз на добу. Мінімально допустимі пороги опору ізоляції чітко прописані в регламенті та автоматично знижуються зі збільшенням масштабу (потужності) станції, оскільки велика кількість панелей дає природний струм витоку.

- *Моніторинг диференційного струму*: Автоматика безпеки повинна постійно вимірювати середньоквадратичне значення струмів витоку, фіксуючи як постійну, так і змінну складові. Пристрій розрізняє тривалі витоки (що свідчать про поступове старіння ізоляції) та раптові випадкові стрибки (які виникають при прямому дотику людини або різкому пробію). У разі перевищення встановлених регламентом жорстких лімітів, система зобов’язана миттєво (залежно від сили струму — від 0,3 до 0,04 секунди) повністю відключити несправну частину сонячного поля від інвертора чи мережі.

- *Технологію захисту від дугового пробію (AFPE)*: На відміну від мереж змінного струму, де дуга природним чином гасне при переході синусоїди через нуль, постійний струм сонячної батареї здатний стабільно утримувати та живити потужну електричну дугу. Дуга може виникнути через погано затягнуту клему, пошкоджений гризунами кабель або тріщину в панелі, причому струм дуги часто не перевищує звичайний робочий струм, через що стандартні автомати його не помічають. Електрична дуга є головною причиною займання ФЕС. Нормативи рекомендують впроваджувати спеціалізовані цифрові детектори дуги, які аналізують частотний шум у колі, розпізнають мікроіскріння та негайно гасять дугу шляхом автоматичного розмикання ланцюга.

- *Захист від руйнівних зворотних струмів*: Коли кілька ланцюгів панелей підключаються паралельно

до одного входу, виникає ризик, що при затіненні або внутрішньому короткому замиканні одного зі стрінгів, всі сусідні ланцюги почнуть скидати свій струм у цей несправний ланцюг. Це викликає миттєвий перегрів модулів та пожежу. Стандарт вимагає встановлювати індивідуальні пристрої захисту від надструму для кожного стрінга, якщо сумарний струм сусідніх ланцюгів перевищує паспортну термічну стійкість сонячного модуля.

4. Імпульсний блискавкозахист та пристрої захисту від перенапруг (ПЗІП)

Сонячні станції через свою велику площу та розміщення на високих точках (дахгах) є об'єктами підвищеного ризику під час грози. Перенапруги можуть виникати як від прямих ударів у будівлю, так і від потужних електромагнітних імпульсів (наведень) при блискавках поруч.

Необхідність встановлення пристроїв захисту від імпульсних перенапруг (ПЗІП) на стороні постійного струму визначається за допомогою розрахунку критичної довжини кабельних трас та локальної густини грозових розрядів у регіоні будівництва. Якщо довжина проводки від панелей до інвертора перевищує розрахований критичний ліміт, монтаж ПЗІП є суворо обов'язковим.

Стандарт вимагає організації ешелонованої системи захисту, яка розділяє зони ФЕС:

- **ПЗІП на стороні змінного струму (АС):** Монтуються у головному ввідному щиті будівлі та безпосередньо біля АС-виходу інвертора для захисту від імпульсів з боку загальної енергосистеми.

- **ПЗІП на стороні постійного струму (DC):** Встановлюються безпосередньо на вхідних DC-виводах інвертора та біля самих сонячних батарей, якщо кабель між ними має велику протяжність.

- **Специфікація сонячних ПЗІП:** Категорично заборонено використовувати звичайні АС-захисні пристрої в DC-колах фотоелектричних систем. Пристрої захисту на сонячній стороні повинні мати заводське маркування "PV" (наприклад, PV T1 або PV T2). Вони розроблені за спеціальними схемами, здатними безпечно розірвати та загасити високу постійну напругу без утворення стійкої внутрішньої дуги всередині самого захисного модуля.

5. Інженерні вимоги до кабельної інфраструктури та комутації## Особливості спеціалізованого сонячного DC-кабелю

Застосування стандартних силових або побутових кабелів (таких як ВВГ чи ПВС) на DC-стороні фотоелектричних систем суворо заборонено. До сонячного кабелю висуваються екстремальні експлуатаційні вимоги:

- **Обов'язкове лудження мідної жили:** Всі струмоведучі жили повинні складатися з безлічі тонких мідних дрітків, які пройшли процес фабричного лудження оловом. Це захищає мідь від швидкого окислення, корозії та деградації контактів в умовах постійного впливу вологи та конденсату на відкритому повітрі.

- **Термічна та хімічна стійкість ізоляції:** Кабель повинен мати подвійну ізоляційну оболонку зі зшитого полімеру, яка не руйнується під дією жорсткого сонячного ультрафіолету, озону, атмосферних

опадів та соляного туману. Матеріал зобов'язаний витримувати постійну робочу температуру до +70°C і вище, оскільки під самими панелями в літні місяці утворюється зона сильного теплового застою.

- **Геометрія паралельної прокладки без утворення петель:** Позитивні (L+) та негативні (L-) кабелі від кожного ланцюга панелей повинні укладатися в кабельні лотки або гофротруби суворо паралельно, впритул один до одного. Створення будь-яких просторових петель (розімкнутих контурів) категорично заборонено. Якщо позитивний кабель піде по правому краю конструкції, а негативний — по лівому, утвориться широке індукційне кільце (антена), яке під час грози вловлює потужні магнітні поля від далеких спалахів блискавок, що призводить до миттєвого випалювання плат управління інвертора.

КОМУТАЦІЙНІ АПАРАТИ ТА ПЛАВКІ ЗАПОБІЖНИКИ

Усі ручні апарати вимикання (DC-роз'єднувачі) повинні відноситися до категорій важкого промислового перемикачів, одночасно розривати всі полюси під напругою та мати механізм швидкого пружинного розриву контактів, незалежний від швидкості руху руки оператора, що гарантує гасіння внутрішньої дуги при виключенні.

Як пристрої захисту від перевантажень дозволено використовувати виключно плавкі запобіжники зі специфікацією gPV, оптимізовані під захист напівпровідникових сонячних елементів.

Використання будь-яких блокувальних діодів як повноцінної заміни автоматичних вимикачів захисту регламент повністю забороняє.

ІНШІ ЗАХОДИ З РОЗБУДОВИ СТАНЦІЙ

1. Встановлено покроковий технологічний алгоритм монтажу ФЕС. Для гарантування структурної міцності та електричної безпеки об'єкта підрядник зобов'язаний виконувати монтажні роботи у суворій послідовності. Алгоритм розгортання системи розділений на три логічні фази:

- **Загальнобудівельний етап:** Спочатку здійснюється підготовка майданчика або даху, після чого монтуються опорні металоконструкції та системи кріплення. На цьому ж етапі виконується закладання контурів захисного уземлення, встановлення блискавководвідів та монтаж опорних DC/AC розподільчих шаф.

- **Електромонтажний етап:** Включає паралельне прокладання сонячного кабелю без утворення просторових петель. Далі сонячні панелі фіксуються на опорних профілях і послідовно з'єднуються між собою за допомогою герметичних роз'ємів у ланцюги (стрінги). Кожен сформований ланцюг обов'язково перевіряється на відповідність напруги холостого ходу.

- **Системна інтеграція:** Окремі ланцюги комутуються в групи та зводяться до інверторного обладнання. Після підключення DC-стороні виконується з'єднання інвертора з АС-мережею об'єкта через пристрої захисту, лічильники та розподільчі щити змінного струму. Завершується процес комплек-

сними пусконаладжувальними випробуваннями системи.

2. Розширено забезпечення пожежної безпеки системи. Фотоелектричні станції класифікуються як знижено пожежонебезпечні об'єкти. Оскільки сторону постійного струму неможливо миттєво знеструмити в сонячний день, регламент впроваджує жорсткий комплекс протипожежних бар'єрів:

- **Стійкість матеріалів:** До монтажу допускаються лише сонячні модулі з офіційним сертифікатом вогнестійкості. Усі кабельні канали, гофротруби, лотки та ізоляція самих провідників повинні бути виготовлені з полімерів, які не підтримують і не поширюють горіння.

- **Конструктивний захист покрівлі:** Якщо панелі монтуються на даху будівлі, матеріал покрівлі (або її верхній захисний шар) повинен належати до спеціальних європейських класів, які не розповсюджують вогонь. В іншому випадку стандарт вимагає застосування додаткових негорючих прошарків під металоконструкціями.

- **Автоматичне гасіння загрози:** Головним інструментом запобігання пожежам є електронний захист — безперервний моніторинг витоків струму на землю та використання цифрових детекторів дуги, які ліквідують джерело займання ще на стадії мікроскріння.

- **Доступ для рятувальників:** При Проектуванні сонячних полів або дахових масивів обов'язково закладаються вільні та широкі технологічні проходи. Вони необхідні для безпечного пересування пожежно-рятувальних бригад ДСНС та обслуговування обладнання.

3. Екологічні аспекти та спрощення процедур (ОВНС). Експлуатація фотоелектричних систем є повністю екологічно чистою. Станції працюють безшумно, не генерують шкідливих для людини електромагнітних полів, чадного газу чи токсичних відходів.

- **Скасування експертизи:** Завдяки високій екологічності технології, девелопери та замовники

будівництва сонячних станцій повністю звільнені від необхідності розробки та погодження розділу Оцінки впливу на навколишнє середовище (ОВНС). Це істотно прискорює та здешевлює процес Проектування та введення об'єкта в експлуатацію.

- **Цивілізований рециклінг:** Екологічні вимоги висуваються лише до етапу завершення життєвого циклу станції. Усі пошкоджені, дефектні або відпрацьовані сонячні модулі після демонтажу повинні передаватися на спеціалізовані підприємства для глибокої переробки та рециклінгу кремнію та кольорових металів відповідно до європейських екологічних стандартів.

4. Обов'язковий регламент візуального маркування. Для захисту життя операторів, сервісних інженерів, інспекторів та пожежних бригад, стандарт зобов'язує наносити стійке візуальне маркування на всі ключові вузли станції:

- **Маркування об'єкта:** На фасаді будівлі, біля головного вузла обліку та на розподільчих щитах змінного струму встановлюється помітний графічний знак, який попереджає про наявність активної сонячної генерації на даху чи території.

- **Маркування DC-кіл:** Кожна точка потенційного доступу до постійного струму (стрінгові коробки, DC-входи інверторів, силові шафи) маркується постійним попереджувальним написом про наявність високої постійної напруги фотоелектричної установки.

- **Маркування кабельних трас:** Усі кабельні лінії постійного струму вздовж шляху їх прокладання забезпечуються стійкими бирками або написами, які чітко ідентифікують їх як DC-кабелі сонячної станції. Самі знаки повинні бути стійкими до вигорання на сонці та легко зчитуватися з безпечної відстані.

5. Стратегічні перспективи розвитку сонячної генерації. Впровадження єдиного інженерного стандарту створює надійну базу для якісної трансформації енергетичного сектору України:

- **Оптимізація інверторної архітектури:** Перехід від застарілих централізованих топологій до масо-

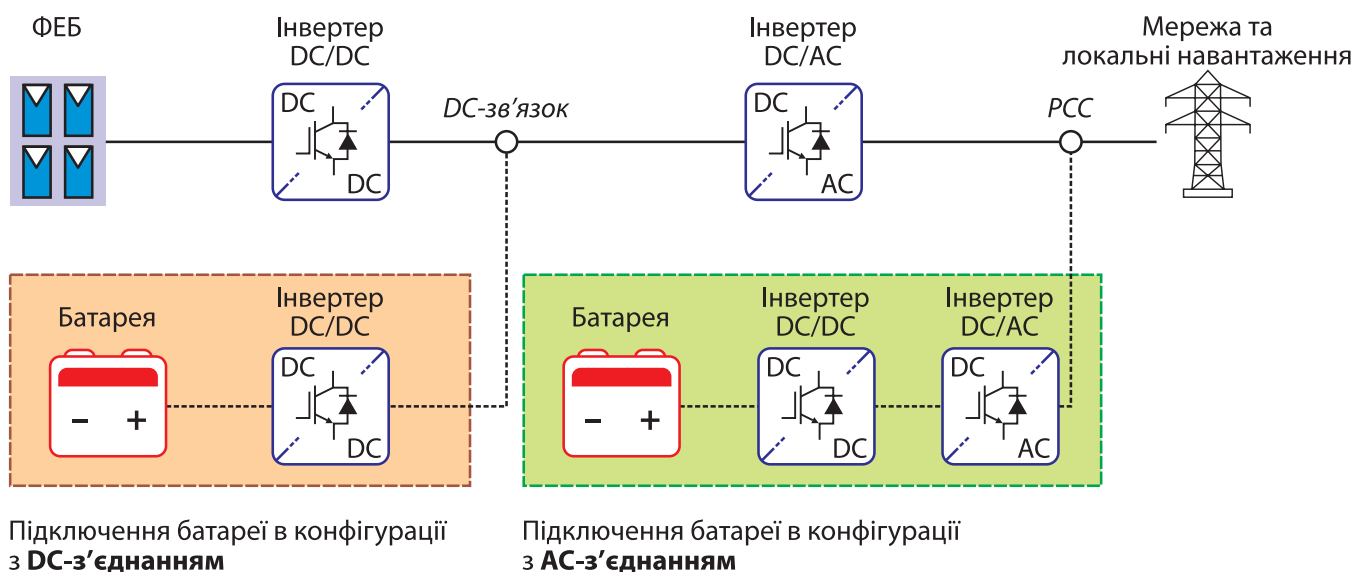


Рис. 6. Схеми інтеграції систем накопичення енергії (BESS) на стороні постійного (DC) та змінного (AC) струму

вого використання розподілених стрінгових інверторів та мікроінверторів підвищує живучість сонячних станцій та спрощує їх сервісний моніторинг.

- **Інтеграція накопичувачів (BESS):** Документ закладає правову та інженерну основу для впровадження промислових акумуляторних систем. Це дозволить накопичувати надлишки денної енергії для їх подальшого використання під час вечірніх та ранкових дефіцитних піків споживання.

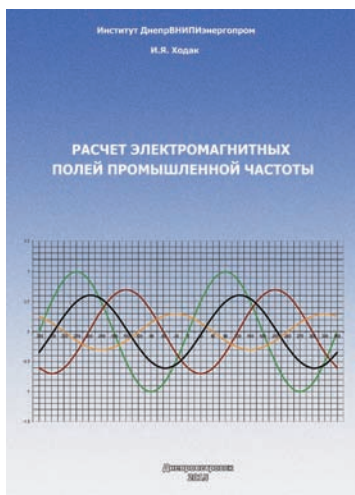
- **Стабілізація енергосистеми:** Великі сонячні станції, обладнані накопичувачами, перетворюються з пасивних генераторів на активних учасників енергоринку. Вони отримують інструменти для диспетчерського балансування мережі, регулювання частоти, напруги та ліквідації аварійних провалів у локальних мікромережах (Microgrids).

- **Архітектура майбутнього (BIPV):** Стандартизація інтегрованих сонячних фасадів та дахів відкриває перспективи для масового зведення сучасних цивільних та житлових будівель із нульовим рівнем зовнішнього енергоспоживання, де сама споруда є генератором енергії.

ВИСНОВОК

Проект ДБН В.2.5-XX:202X є зрілим, високо-технологічним та своєчасним інженерним документом. Його стратегічне значення полягає в тому, що він закладає фундамент для побудови якісно нової, гнучкої та стійкої енергетичної архітектури України. Документ успішно легітимізує та описує інтеграцію розподілених стрінгових інверторів, мікроінверторів, промислових акумуляторних систем (BESS), а також технологій будівлі з нульовим енергоспоживанням (BIPV).

Впровадження цього стандарту дозволить очистити ринок від неякісних та небезпечних Проектних рішень, підвищить загальну надійність енергосистеми в умовах військових та інфраструктурних викликів, а також забезпечить довгострокову безпеку інвестицій у відновлювану енергетику. За умови врахування точкових рекомендацій щодо цифровізації, суворої наскрізної нумерації, кібербезпеки та деталізації дахових конструкцій, цей ДБН стане одним із найефективніших та прогресивних нормативних документів у будівельній галузі України.



РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

В книге главного специалиста-электрика института ДнепрВНИПИЭнергопром кандидата технических наук **И.Я. Ходака** приведены практические методы расчета электрических и магнитных полей, создаваемых воздушными и кабельными линиями электропередач и сухими токоограничивающими реакторами в местах возможного кратковременного или длительного пребывания людей, животных и микропроцессорной аппаратуры. Алгоритмы расчетов позволяют использовать общедоступные офисные программные средства и, при необходимости, выполнить расчеты для контрольных точек вручную.

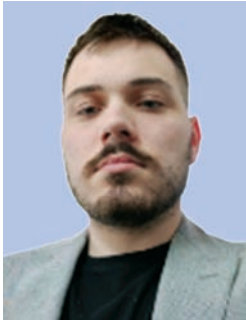
Книга рассчитана на работников проектных организаций, эксплуатационный персонал служб предприятий электрических сетей, систем электроснабжения предприятий и городов, экологов, работников санстанций и других контролирующих органов.



ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО СБОРУ И ВЫДАЧЕ МОЩНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ И ВЕТРОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Книга содержит введение, 12 глав, приложение и заключение. Всего 119 страниц. Формат книги карманный. В ней приведен краткий обзор солнечных и ветровых электростанций: их функциональные и структурные схемы, характеристики основных элементов станции. Приведены схемы присоединения СЭС и ВЭС к энергосистеме, схемы подстанций связи СЭС и ВЭС с энергосистемой, внутростанционные схемы сбора мощности от инверторных подстанций и ветроустановок до подстанций сбора мощности.

Рассмотрены вопросы расчета токов короткого замыкания в близких и удаленных точках короткого замыкания, режимы заземления нейтрали в сети с резисторным заземлением нейтрали, балансы реактивных мощностей. Предложена методика расчета коэффициента несинусоидальности напряжения, вызванной генерацией инверторами и преобразователями частоты токов высших гармоник, в т.ч. с учетом источников гармоник в системе.



А.О. Ворушило

Інститут загальної
енергетики

А.О. Квицинський

НЕК "Укренерго"



ПРО ОЧІКУВАНІ ЗМІНИ У НОРМАТИВНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ

“Щоб ти жив в епоху змін” не є побажанням цікаво і змістовно прожити життя, то щось набагато гірше. До такого висновку приводить незадовільний досвід останніх років, набутий під час затвердження таких переглянутих нормативних документів, як:

- СОУ-Н ЕЕ 20.178 Схеми принципів електричних розподільних установок напругою від 6 кВ до 750 кВ електричних підстанцій. Настанова;
- Правила улаштування електроустановок;
- СОУ-Н ЕЕ 40.1-00100227-103:2014 Виконання Схем перспективного розвитку ОЕС України, окремих енерговузлів та енергорайонів. Правила;
- СОУ-Н ЕЕ 40.1-00100227-101:2014 Норми технологічного проектування енергетичних систем і електричних мереж 35 кВ і вище;
- СОУ-Н ЕЕ 40.1-37471933-82:2013 Методичні рекомендації визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання тощо.

Що дозволяє зробити такий висновок?

Причин тому багато, але до головних чинників, на наш погляд, варто віднести:

- 1) зростаючу вагу екологічних обмежень;
- 2) досягнення у сфері інформаційних технологій та технологій перетворення (накопичення) енергії, які пропонують нові технічні рішення;
- 3) поетапне наближення законодавства України до вимог Енергетичного Законодавства ЄС;
- 4) невизначеність системи нормативних документів електроенергетики в Україні;
- 5) інерційність людського мислення.

Розглянемо, насамперед, поетапне наближення законодавства України до вимог Енергетичного Законодавства ЄС.

На виконання зобов'язань України за **“Договором про заснування Енергетичного Співтовариства та Угодою про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони”** у березні 2026 року прийнято **Закон України “Про внесення змін до деяких законів України щодо імплементації норм європейського права з інтеграції енергетичних ринків, підвищення безпеки постачання та конкурентоспроможності у сфері енергетики”**, який спрямований на імплементацію актів законодавства Енергетичного Співтовариства у сфері енергетики, а саме:

- Директиви (ЄС) 2019/944 від 5 червня 2019 року про спільні правила внутрішнього ринку електроенергії;
- Регламенту (ЄС) N 1227/2011 від 25 жовтня 2011 року про доброчесність та прозорість на оптовому енергетичному ринку;
- Регламенту (ЄС) 2015/1222 від 24 липня 2015 року про встановлення керівних принципів щодо розподілу пропускної спроможності та управління перевантаженнями;
- Регламенту (ЄС) 2016/1719 від 26 вересня 2016 року про встановлення керівних принципів щодо форвардного розподілу пропускної спроможності;
- Регламенту (ЄС) 2017/1485 від 2 серпня 2017 року про встановлення керівних принципів експлуатації системи передачі електроенергії;
- Регламенту (ЄС) 2017/2195 від 23 листопада 2017 року про встановлення керівних принципів щодо балансування електричної енергії;
- Регламенту (ЄС) 2017/2196 від 24 листопада 2017 року про встановлення мережевого кодексу щодо аварійних ситуацій та відновлення електропостачання;
- Регламенту (ЄС) 2019/941 від 5 червня 2019 року про готовність до ризику в електроенергетичному секторі;
- Регламенту (ЄС) 2019/942 від 5 червня 2019 року про заснування Агентства Європейського Союзу з питань співробітництва енергетичних регуляторів;
- Регламенту (ЄС) 2019/943 від 5 червня 2019 року про внутрішній ринок електроенергії.

Вплив змін до **Закону України “Про ринок електричної енергії”** на умови функціонування електроенергетики буде зростати по мірі удосконалення відповідних нормативно-правових актів (НПА), прийнятих чи змінених на виконання положень Закону. І хоча простіше відіслати читачів до тексту цього Закону, вважається за доцільне зробити деякі невичерпні зауваження стосовно внесених до нього змін.

1. Стаття 2 наразі передбачає, що “Основні умови діяльності учасників ринку електричної енергії та взаємовідносин між ними визначаються, зокрема:

.....

6) загальноєвропейськими правилами та змінами до них, перелік яких затверджує Регулятор;

7) регіональними правилами та змінами до них, перелік яких затверджує Регулятор;

8) національними правилами та змінами до них;

9) іншими нормативно-правовими актами” тощо.

Примітка.

64) загальноєвропейські правила, порядки, умови, методики (методології) (далі — загальноєвропейські правила) — правила, порядки, умови, методики (методології), затверджені ACER або регуляторними органами відповідно до законодавства Європейського Союзу, яких учасники ринку зобов’язані додержуватись відповідно до міжнародних зобов’язань України;

95) національні правила, порядки, умови, методики (методології) (далі — національні правила) — правила, порядки, умови, методики (методології), розроблені відповідно до цього Закону і міжнародних зобов’язань України та ухвалені у спосіб та в порядку, визначених законами України;

43) правила, порядки, умови, методики (методології) — загальноєвропейські, регіональні та національні правила, порядки, умови, методики (методології);

154) регіональні правила, порядки, умови, методики (методології) (далі — регіональні правила) — правила, порядки, умови, методики (методології), затверджені регуляторними органами держав — членів Європейського Союзу та/або держав — сторін Енергетичного Співтовариства, Радою регуляторних органів Енергетичного Співтовариства або ACER відповідно до міжнародних зобов’язань України;

2. Статтю 6 доповнено положеннями щодо необхідності:

32) впровадження мережевих кодексів та настанов, визначених актами законодавства Енергетичного Співтовариства;

33) дотримання та впровадження обов’язкових до виконання рішень Секретаріату Енергетичного Співтовариства, рішень ACER та Ради регуляторних органів Енергетичного Співтовариства, прийнятих у межах компетенції, визначеної Договором про заснування Енергетичного Співтовариства;

15) оцінювання вартості втраченого навантаження;

17) забезпечення застосування оператором системи передачі, номінованим оператором (номінованими операторами) ринку, учасниками ринку загальноєвропейських та регіональних правил, включених до переліків, затверджених Регулятором” тощо.

Примітка.

22) вартість втраченого навантаження — максимальна ціна електричної енергії, визначена за результатами оцінювання, яку споживачі готові сплачувати, щоб уникнути перерви в електропостачанні;

103) номінований оператор ринку електричної енергії (далі — номінований оператор ринку) — юридична особа, призначена Регулятором, або юридична особа — нерезидент, паспортизована Регулятором, яка забезпечує виконання завдань, пов’язаних з єдиним сполученням ринків “на добу наперед” та/або єдиним сполученням внутрішньодобових ринків;

3. Статтю 19 доповнено положеннями такого змісту:

“4. Оператор системи передачі щороку здійснює національну оцінку достатності ресурсів та розробляє звіт з оцінки достатності ресурсів для покриття прогнозованого попиту на електричну енергію та забезпечення необхідного резерву потужності (звіт з оцінки достатності ресурсів) з урахуванням вимог безпеки постачання електричної енергії.

Національна оцінка достатності ресурсів має враховувати регіональні фактори та виконується відповідно до загальноєвропейської методології проведення європейської оцінки достатності ресурсів.

Порядок підготовки, зміст та методологічні засади підготовки звіту з оцінки достатності ресурсів, короткострокової та сезонної оцінки достатності ресурсів визначаються кодексом системи передачі.

Примітка.

Наразі є чинною Methodology for the European resource adequacy assessment in accordance with article 23 of Regulation (EU) 2019/943 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the internal market for electricity (Методологія оцінки достатності ресурсів на європейському рівні відповідно до статті 23 Регламенту (ЄС) 2019/943 Європейського Парламенту та Ради від 5 червня 2019 року про внутрішній ринок електроенергії)

Звіт з оцінки достатності ресурсів містить базові сценарії відповідно до загальноєвропейської методології проведення європейської оцінки достатності ресурсів та інші сценарії оцінки достатності ресурсів, у тому числі прогнозні баланси потужності та електроенергії ОЕС України на короткострокову, середньострокову та довгострокову перспективу з урахуванням, зокрема, структурних, економічних, ринкових, екологічних умов, заходів з управління попитом та енергоефективності, з дотриманням стандартів операційної безпеки.

Звіт з оцінки достатності ресурсів включає:

1) опис сценаріїв розвитку;

2) методологію моделювання попиту/пропозиції на електричну енергію та роботи ОЕС України;

3) аналіз основних тенденцій розвитку генеруючих потужностей та навантаження, включаючи економічну оцінку наслідків ймовірного виведення з експлуатації, консервації, нового будівництва генеруючих потужностей;

4) оцінку заходів з досягнення цілей енергоефективності;

5) аналіз розвитку міждержавних ліній електропередачі;

6) оцінку впливу екстремальних погодних умов, гідрологічних умов;

7) оцінку оптових цін на електричну енергію та цін на первинні джерела енергії;

8) оцінку вартості викидів вуглецю;

9) оцінку ризиків ОЕС України у разі настання критичних умов з використанням відповідних критеріїв оцінювання;

10) результати розрахунків режимів роботи ОЕС України за найгіршими сценаріями та заходи із запо-

бігання дефіциту генеруючої потужності та пропускної спроможності системи передачі.

Оператор системи передачі розробляє короткострокову та сезонну оцінку достатності ресурсів для покриття прогнозованого попиту на електричну енергію та забезпечення необхідного резерву (короткострокова та сезонна оцінка достатності ресурсів) з урахуванням вимог до безпеки постачання електричної енергії та відповідно до загальноєвропейських правил, які встановлюють методологію щодо короткострокової та сезонної оцінки достатності ресурсів.

4. Статтю 19¹ доповнено такими положеннями:

“... 4) в Україні встановлено стандарт надійності.

Стандарт надійності визначає необхідний рівень безпеки постачання електричної енергії в Україні та затверджується центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізацію державної політики в електроенергетичному комплексі. Пропозиції щодо стандарту надійності готує Регулятор та подає їх до центрального органу виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізацію державної політики в електроенергетичному комплексі.

Стандарт надійності формується на основі методології, розробленої Європейською мережею операторів системи передачі електричної енергії та затвердженої ACER.

Регулятор визначає єдину оцінку вартості втраченого навантаження для території України у гривні за 1 мегават-годину, а також у євро за 1 мегават-годину за офіційним курсом гривні до євро, встановленим Національним банком України на дату здійснення такої оцінки, відповідно до методології, затвердженої ACER, та оприлюднює її на своєму офіційному веб-сайті”.

Примітка.

20) безпека постачання електричної енергії — спроможність енергосистеми забезпечувати потреби споживачів в електричній енергії з чітко визначеним рівнем ефективності відповідно до вимог цього Закону;

174) стандарт надійності — показник або сукупність показників, що характеризує необхідний рівень безпеки постачання електричної енергії;

5. Статтю 37 доповнено такими положеннями:

“План розвитку системи передачі на наступні 10 років розробляють на основі звіту з оцінки достатності ресурсів, а також планів розвитку суміжних систем передачі, систем розподілу електричної енергії.

Оператор системи передачі співпрацює з операторами систем розподілу під час планування розвитку та експлуатації своїх електричних мереж з метою забезпечення економічно ефективного, безпечного та надійного розвитку та експлуатації системи передачі;

Регулятор здійснює перевірку відповідності заходів, передбачених планом розвитку системи передачі на наступні 10 років, вимогам цього Закону, а також їх узгодженості з Національним планом з енергетики та клімату та десятирічним планом розвитку мережі Європейського Союзу. У частині питань узгодженості з десятирічним планом розвитку мере-

жі Європейського Союзу Регулятор може проводити консультації з ACER”.

Примітка.

Implementation Guidelines for TYNDP (Керівні принципи впровадження для TYNDP)

ENTSO-E Guideline for cost-benefit analysis of grid development projects (Керівні принципи ENTSO-E щодо аналізу витрат та вигод проєктів розвитку енергосистеми)

6. Стаття 44 передбачає, що:

“При диспетчеризації встановлених генеруючих установок оператор системи передачі та оператори систем розподілу на основі прозорих та недискримінаційних критеріїв та за умови дотримання операційної безпеки надають пріоритет:

1) генеруючим установкам, що виробляють електричну енергію з відновлюваних джерел енергії та мають встановлену електричну потужність до 200 кВт;

2) високоефективним когенераційним установкам, що мають встановлену електричну потужність до 400 кВт;

3) генеруючим установкам, що виробляють електричну енергію з відновлюваних джерел енергії, у межах демонстраційних проєктів із впровадження інноваційних технологій, що підлягають затвердженню Регулятором, за умови що такий пріоритет обмежується часом та обсягом, необхідним для досягнення демонстраційних цілей”.

До уваги потрібно взяти запровадження на додаток до зазначеного вище в систему правових відносин ринку електричної енергії Законом України “Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо удосконалення функціонування енергетичних ринків, конкурентних умов виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії та посилення енергетичної стійкості” таких понять, як “гнучкість”, “гнучке приєднання”, “бронювання потужності”, “заходи управління попитом”, “реагування попиту”, “управління попитом” тощо створює нові можливості (відносини) для учасників ринку і вимагає збільшення обсягу і складності відповідних підзаконних актів — кодексів і правил ринку, які вже наразі переобтяжені технічними подробицями.

Стаття 2 Закону України “Про ринок електричної енергії” передбачає “Основні умови діяльності учасників ринку електричної енергії та взаємовідносин між ними визначаються, зокрема:

1) правилами ринку, які, у тому числі, визначають правила функціонування балансуючого ринку та ринку допоміжних послуг;

2) правилами ринку “на добу наперед” та внутрішньодобового ринку;

3) кодексом системи передачі, кодексом систем розподілу;

4) кодексом комерційного обліку;

5) правилами роздрібного ринку;

6) загальноєвропейськими правилами та змінами до них, перелік яких затверджує Регулятор;

7) регіональними правилами та змінами до них, перелік яких затверджує Регулятор;

8) національними правилами та змінами до них;

9) іншими нормативно-правовими актами”.

І хоча частина 6 статті 2 чинного Закону України “Про ринок електричної енергії” передбачає, що “Кодекс системи передачі та Кодекс систем розподілу визначають, зокрема, умови та порядок доступу до системи передачі/системи розподілу, умови та порядок приєднання до системи передачі/системи розподілу...тощо”, останнє не означає, що технічні вимоги до складових ОЕС України не може бути визначено “регламентними” стандартами, як те передбачено Законом України “Про стандартизацію” та Законом України “Про технічні регламенти та оцінку відповідності”.

Примітка. Регламентний стандарт (у юридичній, технічній та діловій практиці) — це нормативний документ, який поєднує в собі ознаки технічного регламенту та стандарту. Часто цим терміном називають стандарт, на який є пряме посилання в нормативно-правовому акті (регламенті) і який стає обов’язковим для виконання.

Варто зазначити, що Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП), розпочала поетапну імплементацію нових положень зазначених Законів України “Про ринок електричної енергії” (зі змінами, внесеними Законами України “Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо удосконалення функціонування енергетичних ринків, конкурентних умов виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії та

посилення енергетичної стійкості” та “Про внесення змін до деяких законів України щодо імплементації норм європейського права з інтеграції енергетичних ринків, підвищення безпеки постачання та конкурентоспроможності у сфері енергетики” до Кодексу системи передачі та Кодексу систем розподілу.

ВИСНОВКИ

1. Наближення законодавства України до вимог Енергетичного Законодавства ЄС буде супроводжуватися подоланням перешкод у вигляді неузгодженості термінології, невизначеності системи нормативних документів електроенергетики в Україні, інерційності людського мислення тощо.

2. Імплементації загальноєвропейських правил [11–13] та стандарту надійності (з урахуванням вартості втраченого навантаження) обумовить перегляд значної частини чинних галузевих нормативних документів, відповідно до вимог яких побудовано ОЕС України.

3. Зростаючу вагу екологічних обмежень, вплив досягнень у сфері інформаційних технологій та технологій перетворення (накопичення) енергії слід розглядати як постійно діючі фактори, що будуть зумовлювати технічні рішення з розвитку ОЕС України.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. СОУ-Н ЕЕ 20.178 Схеми принципові електричні розподільних установок напругою від 6 кВ до 750 кВ електричних підстанцій. Настанова
2. Правила улаштування електроустановок
3. СОУ-Н ЕЕ 40.1-00100227-103:2014 Виконання Схем перспективного розвитку ОЕС України, окремих енерговузлів та енергорайонів. Правила
4. СОУ-Н ЕЕ 40.1-00100227-101:2014 Норми технологічного проектування енергетичних систем і електричних мереж 35 кВ і вище
5. Закон-Н ЕЕ 40.1-37471933-82:2013 Методичні рекомендації визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання;
6. ГНД 34.09.203–2004 (зі зміною) Нормування витрат електроенергії на власні потреби підстанцій 35–750 кВ і розподільчих пунктів 6–10 кВ. Інструкція
7. ГНД 34.09.205–2004 Витрати електричної енергії на власні та господарські потреби електричних станцій та мереж. Номенклатура
8. Договір про заснування Енергетичного Співтовариства та Угодою про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони
9. Закон України “Про внесення змін до деяких законів України щодо імплементації норм європейського права з інтеграції енергетичних ринків, підвищення безпеки постачання та конкурентоспроможності у сфері енергетики”
10. Закон України “Про ринок електричної енергії”
11. Methodology for the European resource adequacy assessment in accordance with article 23 of Regulation (EU) 2019/943 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the internal market for electricity (Методологія оцінки достатності ресурсів на європейському рівні відповідно до статті 23 Регламенту (ЄС) 2019/943 Європейського Парламенту та Ради від 5 червня 2019 року про внутрішній ринок електроенергії)
12. Implementation Guidelines for TYNDP (Керівні принципи впровадження для TYNDP)
13. ENTSO-E Guideline for cost-benefit analysis of grid development projects (Керівні принципи ENTSO-E щодо аналізу витрат та вигод проектів розвитку енергосистеми)
14. Закон України “Про стандартизацію”
15. Закон України “Про технічні регламенти та оцінку відповідності”
16. Про схвалення проекту рішення, що має ознаки регуляторного акта, –постанови НКРЕКП “Про затвердження Змін до Кодексу системи передачі” (щодо імплементації Закону України № 4777 у частині розділення дозволеної до використання потужності користувача на потужність відпуску та потужність відбору електричної енергії, запровадження гнучких приєднань до електричних мереж; надання права оператору УЗЕ встановити генеруючі установки, розширення переліку замовників, електроустановки яких можуть бути приєднані за механізмом “спільного приєднання” (cable pooling); удосконалення окремих існуючих положень). (https://www.nerc.gov.ua/storage/app/sites/1/Docs/Postanova_obgruntuvannya/2026/traven/26.05.2026/p31_26.05.2026.pdf)
17. Про схвалення проекту рішення, що має ознаки регуляторного акта, –постанови НКРЕКП “Про затвердження Змін до Кодексу систем розподілу” (щодо імплементації Закону України № 4777 у частині розділення дозволеної до використання потужності користувача на потужність відпуску та потужність відбору електричної енергії, запровадження гнучких приєднань до електричних мереж; надання права оператору УЗЕ встановити генеруючі установки, розширення переліку замовників, електроустановки яких можуть бути приєднані за механізмом “спільного приєднання” (cable pooling); удосконалення окремих існуючих положень). (https://www.nerc.gov.ua/storage/app/sites/1/Docs/Postanova_obgruntuvannya/2026/traven/26.05.2026/p32_26.05.2026.pdf)
18. Про схвалення проекту рішення, що має ознаки регуляторного акта, –постанови НКРЕКП “Про затвердження Змін до Методики (порядку) формування плати за приєднання до системи передачі та системи розподілу” (щодо імплементації Закону України № 4777 у частині розділення дозволеної до використання потужності користувача на потужність відпуску та потужність відбору електричної енергії, нарахування плати за приєднання при одночасному замовленні потужності відбору та відпуску; визначення особливостей розрахунку вартості плати за приєднання при гнучкому приєднанні до електричних мереж; передбачення системою моніторингу приєднання особливостей у приєднанні, передбачених Законом України № 4777 тощо). (https://www.nerc.gov.ua/storage/app/sites/1/Docs/Postanova_obgruntuvannya/2026/traven/26.05.2026/p33_26.05.2026.pdf)



Х МІЖНАРОДНА
СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА

НАФТОГАЗ ЕКСПО 2026

**13–15
ЖОВТНЯ**



**Місце проведення:
МІЖНАРОДНИЙ
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР**
Київ, Броварський пр-т, 15
тел.: + 38 (066) 921-47-51
e-mail: sher@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua





Х МІЖНАРОДНА
СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА
**MINING &
MINERALS EXPO**



13–15 ЖОВТНЯ 2026

**ТЕХНОЛОГІЇ, ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ДЛЯ
ГІРНИЧОДОБУВНОЇ ТА ВУГІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**



Місце проведення:
МВЦ, м. Київ,
Броварський пр-т, 15,
станція метро «Лівобережна»

Контакти:



+ 38 (066) 921-47-51



sher@iec-expo.com.ua



www.iec-expo.com.ua



XXIII МІЖНАРОДНА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА

ЕНЕРГЕТИКА В ПРОМИСЛОВОСТІ '2026



**13–15
ЖОВТНЯ**



Місце проведення:
МВЦ, м. Київ,
Броварський пр-т, 15,
станція метро «Лівобережна»

Контакти:



+38 (095) 268-05-84



lyudmila@iec-expo.com.ua



www.iec-expo.com.ua

