

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет

**Л. В. Давиденко, Н. В. Коменда,
В. І. Волинець**

**МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ КОМПЛЕКСНОГО
МОНІТОРИНГУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СКЛАДНИХ
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ТА ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЧНИХ
СИСТЕМ ТА КОМПЛЕКСІВ**

Монографія

Луцьк
Вежа-Друк
2026

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Луцького національного технічного університету
(протокол № 11 від 23 квітня 2026 року)*

Рецензенти:

Розен В. П., доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів Інституту енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Саєнко Ю. Л., доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизації систем електропостачання та електроприводу ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»;

Лазуренко О. П., кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри електричних станцій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Давиденко Л. В.

Д13 Методологічні аспекти комплексного моніторингу енергоефективності складних електротехнічних та енерготехнологічних систем та комплексів : монографія / Людмила Валеріївна Давиденко, Наталія Володимирівна Коенда, Владислав Ігорович Волинець. – Луцьк : Вежа-Друк, 2026. – 172 с.

ISBN 978-966-940-799-3

Монографія присвячена питанню підвищення рівня енергоефективності складних електротехнічних та енерготехнологічних систем та комплексів за рахунок розвитку наукових засад моніторингу електричного навантаження та режимів споживання енергії з урахуванням особливостей технологічного процесу об'єкту дослідження.

Монографія містить комплекс теоретичних розробок щодо методології провадження моніторингу енергетичної ефективності складних електротехнічних та енерготехнологічних систем та комплексів, зокрема, моделей та алгоритмів для аналізу енергоефективності, прогнозування та планування енергоспоживання та контролю його ефективності, прогнозування та управління навантаженням електроенергетичних систем, в тому числі, з урахуванням нерівномірності добового графіка електричного навантаження.

УДК 621.311: 620.9.001.5: 004.18

© Давиденко Л. В., Коенда Н. В.,
Волинець В. І., 2026

ISBN 978-966-940-799-3

© Кацура А. В. (обкладинка), 2026

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ	4
ВСТУП	5
1 ПОНЯТІЙНИЙ АПАРАТ КОМПЛЕКСНОГО МОНІТОРИНГУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА КОМПЛЕКСІВ, ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ОПИСУ СТАНУ ТА РЕЖИМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ, АНАЛІЗУ ТА ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ ОБ'ЄКТІВ МОНІТОРИНГУ	9
1.1 Поняття комплексного моніторингу як інструменту управління енергоефективністю складних електротехнічних та енерготехнологічних систем	9
1.2 Опис та аналіз ефективності стану та функціонування складних електротехнічних та енерготехнологічних систем	13
1.2.1 Ефективність як складова оцінки рівня якості функціонування складної системи	13
1.2.2 Формування вихідного інформаційного поля моніторингу енергоефективності складних електротехнічних та енерготехнологічних систем	17
1.2.3 Рейтингова оцінка як результат багатомірного аналізу енергоефективності об'єкту	19
1.2.4 Опис та оцінювання рівня енергоефективності стану та функціонування об'єктів водопровідного господарства України	21
1.3 Опис та характеристика навантаження електроенергетичних та електротехнічних систем	33
1.3.1 Опис нерівномірності ГЕН	33
1.3.2 Морфометричний аналіз форми добового ГЕН	35
1.3.3 Аналіз особливостей застосування показників нерівномірності та форми ГЕН для управління навантаженням	41
1.3.4 Переваги морфометричних показників при оцінці нерівномірності добового електроспоживання	43
2 МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ ТА ПРОЦЕСУ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ СКЛАДНИХ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ	46
2.1 Чинники, що визначають режим роботи електроенергетичної системи	46
2.2 Аналіз методів моделювання графіків електричного навантаження	46
2.3 Морфометрична модель графіка електричного навантаження	50
2.3.1 Морфометричний критерій рівномірності ГЕН	50
2.3.2 Морфометрична модель графіка електричного навантаження та її об'єктно-орієнтована реалізація	51

2.3.3 Приклад оцінки добової нерівномірності на основі класу «Графік»	56
2.4 Моделювання енергоспоживання складних енерготехнологічних систем	58
2.4.1 Формалізація задачі моделювання електроспоживання складних енерготехнологічних систем	58
2.4.2 Моделювання електроспоживання з використанням методів самоорганізації	59
2.4.3 Моделювання електроспоживання із застосуванням нейронних мереж	64
2.5 Побудова моделі базового рівня електроспоживання об'єкту системи водопостачання з урахуванням кортежу визначальних змінних	67
2.5.1 Побудова моделі БРЕ для насосної станції II-го підйому з використанням МГУА	67
2.5.2 Побудова моделей базового рівня електроспоживання водозабору із застосуванням нейронних мереж	74
2.6 Прогнозування електроспоживання складних електротехнічних комплексів	76
2.6.1 Аналіз методів прогнозування процесу електроспоживання складних енерготехнологічних систем та їх об'єктів	76
2.6.2 Використання штучних нейронних мереж для прогнозування електроспоживання складних енерготехнологічних систем та їх об'єктів	84
2.6.3 Прогнозування енергоспоживання складних енерготехнологічних систем та їх об'єктів з урахуванням технологічних параметрів на основі ШНМ	85
2.6.4 Підвищення якості прогнозування електроспоживання складних енерготехнологічних систем та їх об'єктів за рахунок попередньої кластеризації	89
3 РОЗРОБКА МЕТОДІВ ТА АЛГОРИТМІВ КОНТРОЛЮ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ	93
3.1 Завдання та етапи контролю	93
3.2 Обґрунтування вибору показника рівня ефективності електроспоживання та урахування ієрархічного рівня об'єкту водопостачання	95
3.3 Визначення меж регулювання контрольних карт індивідуальних значень	96
3.4 Встановлення діапазонів енергоефективності та інтерпретація контрольних карт для контролю рівня ефективності електроспоживання	97
3.5 Налаштування повідомлень енергоменеджера	99
3.6 Узагальнена процедура контролю рівня ефективності електроспоживання	100

4	РОЗРОБКА МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ	101
4.1	Призначення управління навантаженням	101
4.2	Аналіз методів управління навантаженням систем електропостачання промислових підприємств	104
4.3	Виявлення та вибір споживачів-регуляторів	111
4.3.1	Критерії відбору споживачів-регуляторів	111
4.3.2	Вибір режимів роботи споживачів-регуляторів на основі оцінки множини станів їх функціонування	115
4.4	Класифікація графіків електричного навантаження у морфометричних координатах для прийняття стратегій управління навантаженням	119
4.5	Розробка методів управління навантаженням для використання в фазерах та інших низькорівневих засобах систем контролю та управління SMART-GRID	128
5	ОРГАНІЗАЦІЙНО-ІНФОРМАЦІЙНИЙ ІНСТРУМЕНТАРІЙ МОНІТОРИНГУ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ	138
5.1	Модель моніторингу ефективного споживання електроенергії складних енерготехнологічних систем та їх об'єктів	138
5.2	Формалізований опис існуючих функціональних зв'язків енергогосподарства підприємства	139
5.3	Принципи формування інформаційного простору для вирішення задач моніторингу	143
5.4	Інформаційна модель планування електроспоживання виробничих систем	147
5.5	Будова правил інформаційної моделі планування електроспоживання	149
5.6	Формування блоків інформаційної моделі планування електроспоживання виробничих систем	151
5.7	Програмна реалізація аналізу ефективності електроспоживання виробничих систем	153
	ВИСНОВКИ	157
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	160

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

АІС – автоматизована інформаційна система
АСКОЕ – автоматизована система керування обліком електроенергії
БД – база даних
БРЕ – базовий рівень енергоспоживання
ГВВ – графік витрати води
ГЕН – графік електричного навантаження
ДРТ – діаграма радарного типу
ЕЕС – електроенергетична система
ІАД – інтелектуальний аналіз даних
ІРП – інтегроване ресурсне планування
ІПр – інформаційний простір
ЛЕП – лінія електропередачі
МГУА – метод групового урахування аргументів
МСФ – множина станів функціонування
НА – насосний агрегат
ННА – нерегульований насосний агрегат
НС – насосна система
ООП – об’єктно-орієнтоване програмування
ПЕЕ – показники енергоефективності
ПЕР – паливно-енергетичні ресурси
ПЗ – програмне забезпечення
РБП – реінжиніринг бізнес-процесів
РНА – регульований насосний агрегат
СВС – складні виробничі системи
СЕМ – система енергетичного менеджменту
СЕП – система електропостачання
СКВ – середньоквадратичне відхилення
СР – споживач-регулятор
СТС – складної технологічної системи
СЦВ – система централізованого водопостачання
ШНМ – штучні нейронні мережі
RBF – радіальні базисні функції
SOM – самоорганізуючі мапи Кохонена

ВСТУП

Серед стратегічних пріоритетів з досліджень та інновацій згідно [1] є розвиток і посилення енергоефективних систем, що включає продовження дослідження та інновації за напрямом зменшення енергоємності промисловості ЄС. Зростання енергетичних витрат та їх впливу на навколишнє середовище висуває проблему енергоефективності в число актуальних у будь-якій сфері. Енергоефективність та енергозбереження є одними із пріоритетів соціально-економічного розвитку в глобальному, національному та регіональному вимірах. Питання підвищення енергоефективності та зниження кінцевого енергоспоживання є одним із пріоритетних у енергетичних стратегіях держав.

Ефективність використання енергоносіїв в Україні є більш ніж удвічі нижчою порівняно з промислово розвинутими країнами Західної Європи. Низька ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів у технологічних процесах, перевага енергоємних галузей у структурі економіки, подальше зростання споживання енергоресурсів зумовлює збереження високого рівня енергоємності валового внутрішнього продукту України, негативно впливає на конкурентоспроможність продукції національного виробника та є реальною загрозою економічній, енергетичній, екологічній та загалом національній безпеці України. Загострення дефіциту енергоресурсів диктує необхідність переходу не лише до впровадження енергозберігаючих технологій, а й ефективного управління енергоспоживанням в усіх сферах національної економіки.

Перехід до ефективного споживання енергоресурсів із впровадженням інноваційних технологій є одним із пріоритетів реалізації Стратегії сталого розвитку "Україна - 2035". У світлі ситуації стосовно енергозабезпечення України вирішення проблеми енергоефективності має відбуватись з огляду на спрямованість країни в бік євроінтеграції, що передбачає виконання вимог Директив ЄС щодо ефективності кінцевого використання енергії та енергетичних послуг, впровадження та дотримання міжнародних стандартів. В Директиві ЄС 2018/2002 [2] наголошено на необхідності регулярної оцінки прогресу у досягненні встановлених на 2035 рік цілей щодо енергоефективності та зниження кінцевого енергоспоживання.

Аналіз стану паливно-енергетичного комплексу України вказує на розвиток кризових явищ, причиною яких є недостатні темпи впровадження інноваційних і енергозберігаючих технологій та зниження надійності, економічності та якості енергопостачання. Для поліпшення показників енергоефективності та зниження кінцевого енергоспоживання необхідно забезпечити комплексний розв'язок економічних, організаційних і технічних задач, причому як на рівні енергопостачальних систем, так і на рівні споживачів

енергоресурсів. Цілеспрямована діяльність з енергозбереження потребує управління режимами передачі та розподілу енергії, а також процесами енергоспоживання на рівні підприємств, енергоємних технологічних процесів чи установок, а його важливою складовою є здійснення систематичного моніторингу ефективності режимів передачі, розподілу та споживання енергії.

Основними науковими напрямками енергозбереження та підвищення рівня енергоефективності є: розроблення системи показників та характеристик використання енергії; оцінювання енергоефективності функціонування об'єкту, енерговитрат на технологічні процеси та можливого енергозберігаючого ефекту; дієве управління режимами передачі, розподілу та споживання енергії для забезпечення заданих рівнів енергетичних та технічних характеристик технологічних процесів електроенергетичних та енерготехнологічних систем.

Аналіз функціонування будь-якої складної електроенергетичної або енерготехнологічної системи вимагає вивчення внутрішньої багатопланової діяльності її об'єктів, оцінювання ефективності використання всіх наявних видів ресурсів. Врахування всіх взаємозв'язків, що забезпечують функціонування системи, а також по можливості максимальної кількості факторів (та показників, що їх визначають), що впливають на результат, є важливим моментом достовірності отриманих висновків, планування режимів енергоспоживання та енергопостачання, прийняття управлінських рішень та дієвості управління процесами енерговикористання.

Ситуація, яка склалася, обумовлює необхідність теоретичного осмислення, розроблення нового організаційно-методичного інструментарію, подальшого вдосконалення технологій та методів комплексного моніторингу; планування енергоспоживання енерготехнологічних систем та комплексів, їх режимів роботи, а також їх оптимізації; управління енергоспоживанням споживачів та навантаженням електроенергетичної системи тощо, за рахунок чого стане можливим перехід до ефективного використання енергетичних ресурсів та досягнення глобальної мети щодо зниження кінцевого енергоспоживання.

Метою роботи є підвищення рівня енергоефективності складних електроенергетичних та енерготехнологічних систем та комплексів за рахунок розвитку наукових засад комплексного моніторингу режимів передачі, розподілу та споживання енергії з урахуванням особливостей технологічного процесу об'єкту моніторингу.

Ідейними підставами реалізації мети роботи є:

– використання сукупності показників енергоефективності для комплексного оцінювання енергоефективності, прогнозування, планування та контролю енергоспоживання складних енерготехнологічних систем та комплексів;

– застосування морфометричного підходу для опису, аналізу та оптимізації станів і режимів функціонування електроенергетичних систем, а також контролю та управління електричним навантаженням.

Робота спрямована на обґрунтування та удосконалення науково-методологічних основ комплексного моніторингу енергоефективності складних електротехнічних та енерготехнологічних систем та комплексів, зокрема, методів оцінювання рівня енергоефективності, планування енергоспоживання та контролю його ефективності, а також управління режимами передачі, розподілу та споживання електроенергії з урахування режимних та технологічних особливостей функціонування об'єктів моніторингу.

Об'єктом дослідження є процеси та ефективність електроспоживання в складних електротехнічних та енерготехнологічних систем.

Предметом дослідження є нерівномірність графіків електричних навантажень, математичні моделі та методи прогнозування електроспоживання складних електротехнічних та енерготехнологічних систем та планування їх енергоефективних режимів.

Методи дослідження. Науково-методичну основу досліджень роботи складають: методи порівняльного багатомірного аналізу, математичного моделювання на основі експериментальних даних, розпізнавання образів, морфометричного опису. Для вирішення поставлених задач використовувались такі методи: методи порівняльного багатомірного аналізу – для удосконалення методології оцінювання рівня енергоефективності об'єктів складних електротехнічних та енерготехнологічних систем та комплексів; методи математичної статистики: експертні методи оцінювання та методи математичного моделювання на основі експериментальних даних - для побудови моделей енергоспоживання складних електротехнічних та енерготехнологічних систем та комплексів; методи розпізнавання образів – для виявлення циклічних змін виробничого процесу, формування груп однотипних об'єктів моніторингу, в тому числі, за рівнем енергоефективності; морфометричні методи для опису режимних характеристик складних електротехнічних та енерготехнологічних систем, а також побудови моделей управління електричним навантаженням електроенергетичних систем.

На основі теоретичних і практичних досліджень запропоновано комплекс теоретичних розробок щодо методології провадження моніторингу енергоефективності складних електротехнічних та енерготехнологічних систем та комплексів, зокрема, моделей та алгоритмів для аналізу енергоефективності, прогнозування та планування енергоспоживання та контролю його ефективності, прогнозування та управління навантаженням електроенергетичних систем, в тому числі, з урахуванням нерівномірності добового графіка електричного

навантаження. Застосування запропонованих моделей та алгоритмів сприятиме підвищенню рівня енергоефективності режимів передачі, розподілу електроенергії та енергоспоживання.

Запропоновані методи базуються на новітніх дослідженнях та передових розробках галузі інформаційних технологій, що забезпечує їх актуальність та універсальність використання для підвищення рівня енергоефективності складних електротехнічних та енерготехнологічних систем та комплексів.

Одержані результати містять науково-методологічні підходи, що сприяють адаптації вимог стандартів серії ISO 50000 до умов роботи складних енерготехнологічних систем з урахуванням технологічних особливостей їх функціонування та спрямовані на виявлення прогресу щодо рівня енергоефективності об'єктів, пошук шляхів його підвищення і забезпечення постійного удосконалення технологічного процесу та зниження кінцевого електроспоживання.

ВИСНОВКИ

Забезпечення високого рівня енергоефективності виробничої системи потребує дієвого управління енергоспоживанням, систематичного аналізу, планування та контролю енергоспоживання з урахуванням зміни внутрішніх та зовнішніх чинників, що мають вплив на ефективність режимів енергоспоживання. Для забезпечення максимально високого рівня енергоефективності необхідним є створення системи моніторингу енергоспоживання, яка повинна враховувати специфіку об'єкту дослідження, забезпечувати реалізацію основних функцій моніторингу, сприяти оперативному координуванню режимів роботи всіх об'єктів для забезпечення ефективних режимів енергоспоживання на підприємстві та електропостачання, а також прийняттю дієвих управлінських рішень щодо підвищення енергоефективності.

На основі теоретичних і практичних досліджень запропоновано комплекс теоретичних розробок щодо методології провадження моніторингу енергоефективності складних електротехнічних та енерготехнологічних систем та комплексів, зокрема, моделей та алгоритмів для аналізу енергоефективності складних електротехнічних та енерготехнологічних систем та комплексів, прогнозування та планування енергоспоживання та контролю його ефективності, прогнозування та управління навантаженням електроенергетичних систем, в тому числі, з урахуванням нерівномірності добового графіка електричного навантаження.

Результатом теоретичних і практичних досліджень є:

- удосконалення понятійно-термінологічного апарату для опису стану та режимів функціонування, а також аналізу та оцінювання енергоефективності складних електротехнічних та енерготехнологічних систем та комплексів;
- розробка та удосконалення методології порівняльного аналізу та оцінювання рівня енергоефективності енерготехнологічних систем та комплексів з урахуванням технологічних особливостей їх функціонування;
- сукупність моделей енергоспоживання енерготехнологічних комплексів та об'єктів з урахуванням показників енергоефективності;
- алгоритм контролю ефективності енергоспоживання в складних енерготехнологічних систем та комплексів;
- рекомендації щодо використання процедур оцінювання та контролювання ефективності енергоспоживання в системах енергетичного менеджменту промислових підприємств;
- рекомендації щодо покращення процесу передачі та розподілу електроенергії на основі використання розроблених методів аналізу графіків електричного навантаження електроенергетичних систем;

– пропозиції щодо покращення процедур аналізу ефективності роботи електроенергетичних систем через впровадження морфометричних показників та відповідних методів створених на їх основі;

– пропозиції щодо використання морфометричного апарату в пристроях контролю та управління Smart Grid мережами (фазерами та іншими пристроями систем управління навантаженням);

– методи управління Smart Grid мережами на основі використання матриць пристроїв управління навантаженням на основі морфометричного підходу.

Результати наукового дослідження містять науково-методологічні підходи, що сприяють адаптації вимог стандартів серії ISO 50000 до умов роботи складних електротехнічних та енерготехнологічних систем та комплексів з урахуванням технологічних особливостей їх функціонування та спрямовані на підвищення рівня енергоефективності режимів передачі, розподілу електроенергії та енергоспоживання.

Запропоновані підходи, алгоритми, моделі базуються на новітніх дослідженнях та передових розробках галузі інформаційних технологій, що забезпечує їх актуальність та універсальність використання для підвищення рівня енергоефективності електроенергетичних та енерготехнологічних систем та комплексів.

Використання розробленого понятійно-термінологічного апарату комплексного моніторингу енергоефективності складних електротехнічних та енерготехнологічних систем та комплексів сприятиме удосконаленню принципів опису стану та режимів функціонування, а також аналізу та оцінювання рівня енергоефективності функціонування об'єктів моніторингу, оскільки дозволить враховувати не лише ефективність вихідного стану об'єктів дослідження, а й ефективність організації їх технологічних процесів, а також вплив зовнішніх чинників. Впровадження нових методів управління режимами передачі та розподілу електроенергії дозволить підвищити ефективність роботи електроенергетичних систем на основі зменшення перетоків енергії та оптимізації часу реакції електроенергетичних систем та вибір раціональних режимів їх роботи в найменші часові терміни.

Запропоновані підходи мають практичну цінність для їх застосування з метою вирішення питань планування та контролю електроспоживання з урахуванням циклічних змін технологічного процесу, організації систем енергоменеджменту та автоматизованого робочого місця енергоменеджера на об'єктах промислових підприємств та електроенергетичних систем.

Практична цінність отриманих результатів:

– сприяння виявленню причин нераціональних витрат енергоресурсів в електротехнічних та енерготехнологічних системах та комплексах, що спрощує

процедуру прийняття рішення щодо першочерговості заходів спрямованих на підвищення ефективності функціонування;

- забезпечення можливості аналізу впливу зміни показників енергоефективності на величину енергоспоживання, що є зручним під час планування заходів щодо підвищення рівня енергоефективності;

- підвищення ефективності управління процесами передачі, розподілу та споживання електроенергії з урахуванням нерівномірності добового графіка електричних навантажень;

- можливість оцінювання дієвості управлінських впливів та попередження негативних тенденцій на основі використання процедур контролю режимів споживання енергії.

Запропоновані підходи спрямовані на пошук резервів підвищення рівня енергоефективності об'єкту дослідження та представляють практичний інтерес для енергоменеджерів та енергетиків підприємств та енергопостачальних компаній, а також фахівців з питань забезпечення ефективного енергоспоживання у різних галузях економіки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. European Commission. Communication from the Commission - Towards an integrated Strategic Energy Technology (SET) Plan: accelerating the European energy system transformation' (C(2015) 6317 final). Brussels. 15.9.2015. P.17. URL: <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/3/2015/EN/3-2015-6317-EN-F1-1.PDF>
2. Directive (EU) 2018/2002 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 amending Directive 2012/27/EU on energy efficiency (Text with EEA relevance.). *Official Journal of the European Union*. 2018. L 328, P. 210–230. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/>
3. Herce, C.; Biele, E.; Martini, C.; Salvio, M.; Toro, C. Impact of Energy Monitoring and Management Systems on the Implementation and Planning of Energy Performance Improved Actions: An Empirical Analysis Based on Energy Audits in Italy. *Energies* 2021. Vol. 14, P. 4723. URL: <https://doi.org/10.3390/en14164723>
4. ДСТУ ISO 50006:2016. Системи енергетичного менеджменту. Вимірювання рівня досягнутої/досяжної енергоефективності з використанням базових рівнів енергоспоживання та показників енергоефективності. Загальні положення та настанова (*ISO 50006:2014, IDT*). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 30 с.
5. El Maghraoui A, Ledmaoui Y, Laayati O, El Hadraoui H, Chebak A. Smart Energy Management: A Comparative Study of Energy Consumption Forecasting Algorithms for an Experimental Open-Pit Mine. *Energies*. 2022. Vol. 15(13), P.4569. URL: <https://doi.org/10.3390/en15134569>
6. Ahmed Shaban, Hagag Maher, Mahmoud Elbayoumi, Suzan Abdelhady, A cuckoo load scheduling optimization approach for smart energy management. *Energy Reports*. Vol. 7, 2021. P. 4705-4721. URL: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.06.099>
7. Connor Scott, Mominul Ahsan, Alhusein Albarbar. Machine learning for forecasting a photovoltaic (PV) generation system, *Energy*. Vol. 278, 2023. P.127807. URL: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127807>
8. M. U. Saleem, M. R. Usman, M. A. Usman and C. Politis. Design, Deployment and Performance Evaluation of an IoT Based Smart Energy Management System for Demand Side Management in Smart Grid. *IEEE Access*. Vol. 10, P. 15261-15278, 2022. URL: <http://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3147484>
9. K. Szajdzicki and K. Szajdzicki. Measuring & maintaining energy efficiency: SMART approach to implementing ISO 50001. *2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*. Milan, Italy. 2017. P. 1-5. URL: <http://doi.org/10.1109/EEEIC.2017.7977657>

10. Ageed ZS, Zeebaree SRM, Sadeeq MAM, Abdulrazzaq MB, Salim BW, Salih AA et al. A state of art survey for intelligent energy monitoring systems. *AJRCoS*. 2021. Vol. 8(1), P. 46-61. URL: <http://doi.org/10.9734/AJRCOS/2021/v8i130192>
11. Akhtar T, Rehman AU, Jamil M, Gilani SO. Impact of an energy monitoring system on the energy efficiency of an automobile factory: A case study. *Energies*. 2020. Vol. 13(10), P. 2577. URL: <http://doi.org/10.3390/en13102577>
12. Agrawal R, De Tommasi L and Lyons P. The Ring Fencing Mechanism: a case study of innovative self-financing approach for energy efficiency upgrades. *Open Res Europe*. 2022. Vol. 2, P. 53. URL: <https://doi.org/10.12688/openreseurope.14731.1>
13. B. Geethanjali, L. M. Hansa & M. Daniel. An optimization of effective energy management as a tool to facilitate managers. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. WIT Press. 2007. Vol 105. URL: <http://doi.org/10.2495/ESUS070071>
14. T. Farkas, C. Muresan, D. Stet, L. Czumbil, A. Ceclan and D. D. Micu, "The impact of an energy efficiency action plan for an energy-intensive SME in Romania – a case study," *2022 2nd International Conference on Energy Transition in the Mediterranean Area (SyNERGY MED)*. Thessaloniki. Greece. 2022, P. 1-6. URL: <http://doi.org/10.1109/SyNERGYMED55767.2022.9941445>
15. Hussain T, Min Ullah FU, Muhammad K, Rho S, Ullah A, Hwang E et al. Smart and intelligent energy monitoring systems: A comprehensive literature survey and future research guidelines. *Int J Energy Res*. 2021. Vol. 45(3), P. 3590-614. URL: <http://doi.org/10.1002/er.6093>
16. Laayati O, Bouzi M, Chebak A. Smart Energy Management System: Design of a Monitoring and Peak Load Forecasting System for an Experimental Open-Pit Mine. *Applied System Innovation*. 2022. Vol. 5(1), P.18. URL: <https://doi.org/10.3390/asi5010018>
17. Давиденко Н.В., Давиденко В.А., Давиденко Л.В. Формування вихідного інформаційного поля моніторингу енергоефективності об'єктів водопровідного господарства України. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2021. №1(93). С. 338-354.
18. Давиденко Л.В., Давиденко В.А., Розен В.П. Моніторинг ефективності енерговикористання в системах комунального водопостачання: Монографія. Луцьк: ПБВ Луцького НТУ, 2015. 148 с.
19. Davydenko L., Rozen V., Davydenko V., Davydenko N. Formalization of Energy Efficiency Control Procedures of Public Water-Supply Facilities. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2017. Vol. 543. P. 196-202.
20. Гасанов Г.Б. Рейтингова оцінка та регулювання діяльності розподільних електричних мереж в умовах нечіткості. Львів : Львівська політехніка, 2006. 116 с.

21. Barthelemy M. *Morphology of Spatial Networks*. Cham. Springer. 2018. P. 391 p. URL: <http://doi.org/10.1007/978-3-319-20565-6>
22. Т.І. Коменда, Н.В. Коменда. Морфометричні методи і моделі оцінки та зменшення нерівномірності навантажень систем електропостачання : монографія. Луцьк : ЛНТУ, 2012. 112 с.
23. Бублик В. В. Об'єктно-орієнтоване програмування. Київ : ІТ-Книга, 2015. 624 с.
24. Rohlf F. J., MacLeod N., Forey P. Geometric morphometrics and phylogeny. *Morphometrics, shape, and phylogeny*. N.Y. : Taylor & Francis. 2002. P. 175–193.
25. Fisher E. C. A complex systems theory of technological change : a case study involving a morphometrics analysis of stone age flake debitage from the horn of Africa. University of Florida. 2005. URL: <http://purl.fcla.edu/fcla/etd/UFE0010480> ДСТУ ISO 50006:2016.
26. ДСТУ ISO 50001:2020. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання (ISO 50001:2018, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 33с.
27. Давиденко Л.В., Розен В.П., Давиденко Н.В., Давиденко В.А. Планування та контроль електроспоживання в системах комунального водопостачання : монографія. Луцьк : ІВВ Луцького НТУ, 2020. 160 с.
28. Степашко В.С., Єфіменко С.М. Про застосування паралельних обчислень в задачах моделювання на основі індуктивного підходу. *Проблеми програмування*. 2006. № 2-3. Спеціальний випуск. С.170-176.
29. Івахненко О.Г., Івахненко Г.О. Індуктивні методи прогнозування та аналізу складних економічних систем. Черкаси : ЧДТУ, 2010. 399 с.
30. GMDH Shell for Data Science uses the power of the GMDH (Group Method of Data Handling). URL: <http://www.gmdh.net/>
31. Давиденко Л.В., Давиденко В.А., Давиденко Н.В. Унормування базового рівня електроспоживання об'єктів водопостачання до визначальних змінних із застосуванням нейронних мереж. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. Кременчук : КрНУ. 2021. Випуск 1(126). С. 98-103.
32. Владов С.І., Шмельов Ю.М., Грибанова С.А., Гусарова О.В., Подгорних Н.В. Метод підвищення робастності нейромережевої моделі контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 в польотних режимах. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2020. Вип. 1. С. 113-119.
33. Alanis A., Arana-Daniel N., Lopez-Franco C. (Eds.) *Artificial Neural Networks for Engineering Applications*. Academic Press. 2019. P. 165. ISBN: 978-0-12-818247-5.

34. Терейковський І. А., Бушуєв Д. А., Терейковська Л. О. Штучні нейронні мережі: базові положення. Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського. 2022. 126 с.
35. Дзендзелюк О., Любунь З., Рабик В. Прогнозування параметрів довкілля на основі штучних нейронних мереж. *Електроніка та інформаційні технології*. 2015. Випуск 5. С. 102–113.
36. Хомутецька Т.П. Методика оптимізації роботи насосних станцій і безбаштової водопровідної мережі (на прикладі Чернігівського водопроводу). *Вісн. Одес. держ. акад. буд-ва та архит.* 2012. Вип. 48. С. 215-229.
37. Субботін С.О., Корнієнко О.В. Нейромережеве моделювання залежностей результатів випробувань газотурбінних авіадвигунів. *Автоматизация технологических и бизнес-процессов*. 2018. Vol. 10, Iss. 1. P. 9-16.
38. Salam A., & Hibaoui A. E. Comparison of Machine Learning Algorithms for the Power Consumption Prediction: Case Study of Tetouan city. 2018. 6th International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC), P.1–5. URL: <https://doi.org/10.1109/IRSEC.2018.8703007>
39. Shapi M. K. M., Ramli N. A., & Awalin L. J. Energy consumption prediction by using machine learning for smart building: Case study in Malaysia. *Developments in the Built Environment*, 2020. Vol. 5, P.100037. URL: <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100037>
40. Carol E. Brown and Daniel E. O'Leary. Introduction to Artificial Intelligence and Expert systems. URL: https://www.researchgate.net/publication/312166532_Introduction_to_artificial_intelligence_and_expert_systems
41. Carpenter, G. A. Adaptive Resonance Theory. *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks*. Second Edition. 2003. P. 87-90.
42. Werbos P. J. Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioral sciences. Ph.D. thesis. Cambridge, MA : Harvard University. 1974. URL: <http://doi.org/10.1038/384162a0>
43. Rumelhart D. E. Learning Internal Representations by Error Propagation Parallel Distributed Processing. Cambridge, MA : MIT Press. 1986. Vol. 1, P. 318-362. ISSN: 0743-7315.
44. Kosko B. Bi-directional associative memories. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. 1987. Vol. 18(1), P. 49-60.
45. Hinton G. E. Learning and relearning in Boltzmann machines. *Parallel Distributed Processing: Explorations in Microstructure of Cognition*. Cambridge, MA. MIT Press. 1986. ISSN 0743-7315.
46. Hecht-Nielsen R. Replicator neural networks for universal optimal source coding. *Science*. 1995. Vol. 269, P. 1860-1863. ISSN 0036-8075.

47. Hopfield J. J. Learning algorithms and probability distributions in feed-forward and feed-back networks. 1987. URL: <http://doi.org/10.1073/pnas.84.23.8429>
48. Widrow B. Stationary and nonstationary learning characteristics of the LMS adaptive filter. Proceedings of the IEEE. 1976. Vol. 64, P. 1151–1162. ISSN 0018-9219.
49. Fukushima K. Neocognitron: A model for visual pattern recognition. The Handbook of Brain Theory and Neural Networks. Cambridge, MA. MIT Press. 1995.
50. Rosenblatt, F. Principles of Neurodynamics. Washington, OC. Spartan Books. 1962. URL: http://doi.org/10.1007/11520153_14
51. Kohonen, T. Physiological interpretation of the self-organizing map algorithm. Neural Networks. 1993. Vol. 6, P. 895-905. ISSN 0893-6080.
52. Hecht-Nielsen, R. Neurocomputing. Reading, MA. Addison-Wesley. 1990.
53. Kohonen, T. The self-organizing map. Proceedings of the Institute of Electrical and Electronics Engineers. 1990. Vol. 78, P. 1464-1480. ISSN 0018-9219.
54. Hopfield, J. J. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. Proceedings of National Academy of Sciences. 1982. Vol. 79, №8. P. 2554-2558. ISSN 1091-6490.
55. Cottrell, G. W. Learning internal representations from Grey-scale images: An example of extensional programming. Proceedings of the 9th Annual Conference of the Cognitive science Society. 1987. P. 461-473. ISSN 1047-1316.
56. Giri A.K., Arya S.R., Vinnikov D. (eds.) Distributed Energy Systems: Design, Modeling, and Control. CRC Press, 2023. 308 p. (Control Theory and Applications). ISBN 978-1-032-13424-6.
57. Radu Godina, Carina Pimentel, F.J.G. Silva, João C.O. Matias. Improvement of the Statistical Process Control Certainty in an Automotive Manufacturing Unit. *Procedia Manufacturing*. 2018. № 17. P. 729–736. URL: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.123>
58. Півняк Г.Г., Випанасенко С.У., Хованська О.І. та ін. Системи енергоменеджменту та їх математичне забезпечення: навч. посіб. Донецьк : Національний гірничий університет, 2013. 214 с.
59. Давиденко Л.В., Давиденко В.А., Давиденко Н.В. Контроль рівня ефективності електроспоживання в системі централізованого водопостачання. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 106881 від 02 серпня 2021 р.
60. ISO 7870-2:2013. Control charts - Part 2: Shewhart control charts. Switzerland, 2013. 44 p.
61. Сердюк Т. В. Організаційно-економічний механізм енергозбереження в промисловості: монографія. Вінниця : [б. в.], 2005. 153 с.

62. Закладний О. М., Праховник А. В., Соловей О. І. Енергозбереження засобами промислового електропривода. К : Кондор, 2005. 408 с.
63. Лежнюк П. Д., Кулик В.В., Кравцов К. І. Визначення та аналіз втрат електроенергії в розподільних мережах: навч. посіб. Вінниця : Вінниц. нац. техн. ун-т, 2006. 89 с.
64. Лежнюк П. Д., Писклярова А.В. Оцінювання втрат електроенергії в низьковольтних електричних мережах засобами нечіткої логіки: монографія. Вінниця : Вінниц. нац. техн. ун-т, 2009. 94 с.
65. Talukdar S. N., Gellings C. W. Load Management. New York. IEEE Press. 1987. 207 p.
66. Разумний Ю. Т. Класифікація графіків електричного навантаження за групами електроприймачів вугільної шахти. Наук. вісн. НГУ. 2009. № 12. С. 63–65.
67. Н. В. Коменда, В. І. Волинець, А. В. Гадай, І. О. Бандура, М. В. Романюк. Енергетичне моделювання Smart Grid: морфометричний підхід до аналізу розподілених енергетичних систем. Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Електротехніка і енергетика». 2025. №2(33). С. 37-42. URL: <https://doi.org/10.31474/2074-2630-2025-2-37-42>
68. Gerbec D., Gasperic S., Gubina F. Comparison of Different Classification Methods for the Consumers Load Profile Determination. 17th International Conference on Electricity Distribution. Barcelona. CIRED. 2003. URL: <http://www.cired.be/CIRED03/reports/R%206-67.pdf>
69. Bryony S. Electric Load Management in Industry. International Union for Electricity Applications. European Copper Institute, 2009. URL: <http://www.leonardo-energy.org/electric-load-management-industry>
70. Lezhnuk P., Kozachuk O., Komenda N., Malogulko J. Electrical power and energy balance in the local electrical system by using reconciliation of the generation and consumption schedules. Przegląd Elektrotechniczny. 2023, №3, С. 57–63. URL: <https://doi.org/10.15199/48.2023.09.10>
71. Theoretical and scientific foundations in research in Engineering: collective monograph / Beresjuk O., Lemeschew M., Stadnitschuk M. International Science Group. Boston. Primedia eLaunch. 2022. P. 316-331. URL: <https://doi.org/10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.1>
72. Lara J. D., Barrows C., Thom D., Dalvi S., Callaway D. S., Krishnamurthy D. PowerSimulations.jl - A Power Systems operations simulation Library. *arXiv preprint*. 2024. arXiv:2404.03074.
73. Лежнюк П. Д., Комар В. О., Лесько В. О., Поліщук А. Л. Врахування якості функціонування розподільних систем під час їх реконструкції. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету*. 2018.

74. Bhatti J., Bhardwaj N., Kumar S. *Mathematical modelling to industrial repair and maintenance policy system for its reliability. Mathematical Modeling and Computing*. Lviv : Lviv Polytechnic Publishing House. 2021. Vol. 8, No. 3. P. 465–473.

75. Кулик В. В., Кириленко О. В. Керування режимами електроенергетичних систем. Київ : НТУУ «КПІ», 2016. 312 с.

76. Glover J. D., Sarma M. S., Overbye T. J. *Power System Analysis and Design*. – 6th ed. Boston : Cengage Learning. 2017. 864 p.

77. Dinh D.-T., Fujinami T., Huynh V.-N. Estimating the Optimal Number of Clusters in Categorical Data Clustering by Silhouette Coefficient. *arXiv preprint*. 2025. arXiv:2501.15542.

78. Likas A., Vlassis N., Verbeek J. J. The global k-means clustering algorithm. *Pattern Recognition*. 2003. Vol. 36, No. 2. P. 451–461. URL: [http://doi.org/10.1016/S0031-3203\(02\)00060-2](http://doi.org/10.1016/S0031-3203(02)00060-2)

79. Phasor Measurement Unit or Synchrophasors. URL: http://best.eng.buffalo.edu/Teaching/EE611/Phasor_Measurement_Unit.pdf

80. Real Time Dynamics Monitoring System. URL: https://www.electricpowergroup.net/epg_products/rtdms/default.aspx

Наукове видання

**Л. В. Давиденко, Н. В. Коменда,
В. І. Волинець**

**МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ КОМПЛЕКСНОГО
МОНІТОРИНГУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СКЛАДНИХ
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ТА ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЧНИХ
СИСТЕМ ТА КОМПЛЕКСІВ**

Монографія

Друкується в авторській редакції

Формат 60x84 1/16. Обсяг 9,89 ум. друк. арк., 9,01 обл.-вид. арк.
Наклад 300 пр. Зам. 58. Видавець та виготовлювач – Вежа-Друк
(м. Луцьк, вул. Шопена, 12, тел. +38 066 936 25 49).
Свідоцтво Держ. комітету телебачення та радіомовлення України
ДК № 4607 від 30.08.2013 р.