

Л. В. ДАВИДЕНКО (д-р техн. наук, проф.)
Луцький національний технічний університет
l.davydenko@lutsk-ntu.com.ua

ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОНІТОРИНГУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПАРКУ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

В статті розглянуто аспекти реалізації моніторингу енергоефективності парку електромобілів, що функціонує в умовах міста, як інструменту інтелектуального енергоменеджменту автотранспортного підприємства. Виконано характеристику парку електромобілів як активного споживача електроенергії та обґрунтовано необхідність його розгляду як учасника енергоринку. Завдання моніторингу розглядається з позицій забезпечення стійкої електромобільності та ефективного функціонування підприємства, а також інтеграції парку електромобілів в електричну мережу та його впливу на електричне навантаження енергосистеми. Для реалізації завдання моніторингу енергоефективності парку електромобілів як складової підтримки прийняття управлінських рішень сформовано перелік задач, підпорядкованих проблемі підвищення енергоефективності функціонування автотранспортного підприємства. Для вирішення проблеми багатозадачності моніторингу енергоефективності використано підхід стратифікованого представлення складних систем, що дозволило спростити опис складових системи інформаційно-аналітичного забезпечення моніторингу. Формалізацію системи інформаційно-аналітичного забезпечення моніторингу енергоефективності парку електромобілів виконано із застосуванням об'єктно-орієнтованої технології. Об'єкти системи інформаційно-аналітичного забезпечення моніторингу представлено за допомогою трьох категорій класів, що мають об'єднані властивості та забезпечують реалізацію функціонування підсистем моніторингу, орієнтованих на збір та обробку інформації, аналіз даних та моделювання, а також контроль енергоефективності. З урахуванням сформованих задач моніторингу виконано опис структури даних та функцій класів.

Ключові слова: енергоефективність, парк електромобілів, інформаційно-аналітичне забезпечення, стратифіковане представлення складних систем, об'єктно-орієнтована технологія.

Постановка проблеми. У сучасних умовах кліматичних змін та виснаження запасів копалин енергоресурсів питання декарбонізації, енергоефективності та зниження кінцевого енергоспоживання у всіх галузях є одними з перспективних. Відповідно до Паризької угоди про зміну клімату [1] Євросоюз встановив мету скоротити до 2030 року викиди парникових газів на 40 %, а в [2] встановлено нову ціль - скорочення викидів парникових газів на 55% та досягнення кліматичної нейтральності згідно [3] до 2050 року. Досягнення глобальної цілі кліматичної нейтральності вимагає стримування зростання попиту на енергію та забезпечення декарбонізації енергетичного сектору шляхом переходу на відновлювальні джерела енергії (ВДЕ) та інші чисті види енергії [4]. Енергетичний перехід вимагає змін у процесах виробництва, постачання, передачі та споживання енергії, передбачає ефективне використання енергії та зменшення попиту на енергію в усіх секторах економіки. У процесі зниження викидів парникових газів шляхом переходу до низьковуглецевої економіки важлива роль відводиться питанням декарбонізації транспортного сектору за рахунок використання чистих транспортних засобів та розвитку електромобільності [5]. Водночас інтенсивний розвиток електромобільності зумовлює необхідність вирішення питання ефективності їх інтеграції в електричну мережу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Масове впровадження електромобілів зумов-

лює розвиток інфраструктури зарядних станцій, характер графіка навантаження яких визначає споживчий попит власників електромобілів. Велика кількість електромобілів, які потребують одночасного заряджання, зумовлюють додаткове електричне навантаження і під час денного заряджання можуть спричинити перевантаження електричної мережі [6]. Крім того, зручний для користувача період зарядки парку електромобілів та графік завантаження мережі можуть конфліктувати [7]. Питання декарбонізації транспортного сектору, впровадження концепції розумних мереж та розумних міст сформувавши кілька напрямків досліджень у галузі розвитку електромобільності, зокрема, вивчення попиту на зарядку електромобілів для проектування та розвитку інфраструктури зарядних станцій, а також прогнозування пропускної спроможності зарядної станції з урахуванням поведінки їх власників [8]; управління зарядкою автопарку електромобілів [9]; інтеграції електромобілів у інтелектуальну електричну мережу для стабілізації коливань навантаження [10, 11] тощо. Разом з цим, аналіз результатів досліджень у галузі декарбонізації транспортного сектору та розвитку електромобільності дозволяє стверджувати, що необхідним є комплексне врахування всіх аспектів цієї проблеми для забезпечення енергоефективного функціонування парку електромобілів автотранспортного підприємства та їх інтеграції в електричну мережу.

Посилення ролі та значення ефективності використання енергоресурсів висуває до першочергових проблему підвищення дієвості управління процесом енергоспоживання. Ключовим елементом підвищення рівня енергоефективності функціонування будь-якого об'єкту та забезпечення ефективного управління енергоспоживанням згідно з [12] є підходи, спрямовані на впровадження системи енергетичного менеджменту (СЕМ). При цьому зазначається, що впровадження СЕМ забезпечує зниження енергоспоживання [13, 14, 15], сприяє переходу до стійкої енергетики [14], а також має сприятливий вплив на сталий розвиток [16]. Основною метою управління енергоспоживанням будь-якого об'єкту є досягнення високого рівня ефективності господарювання за одночасного раціонального використання всіх ресурсів. Проблема управління енергоспоживанням має цілісний характер і потребує урахування як явних, і прихованих причинно-наслідкових зв'язків. При цьому слід враховувати специфіку роботи об'єкта дослідження, а також інтереси енергосистеми.

У сучасних умовах будь-який об'єкт (процес; підприємство; технологічну, енергетичну, транспортну систему), який містить велику кількість функціонально взаємопов'язаних структурних елементів, що споживають енергетичні та/або природні ресурси, кожен з яких має свої особливості функціонування, слід розглядати як складну систему. Ефективність функціонування такої системи залежить від багатьох факторів і потребує всебічного урахування інформації різного характеру від різних джерел. Забезпечення урахування різних складових ефективного функціонування складної системи потребує організації комплексного моніторингу енергоефективності та його інформаційного забезпечення.

Метою статті є розвиток принципів побудови системи моніторингу енергоефективності функціонування парку електромобілів транспортного підприємства як засобу інформаційного забезпечення ефективного управління енергоспоживанням та інтеграції парку електромобілів в електричну мережу.

Основний матеріал дослідження. В сучасних умовах енергетичного переходу до низьковуглецевої економіки електромобілі розглядаються як спосіб досягнення стійкої енергетики в розумних містах. Разом з тим, споживчий попит електромобілів визначає характер графіка навантаження зарядних станцій, а також ефективність інтеграції електромобілів в електричну мережу. Для уникнення пікового попиту на електроенергію для зарядки електромобілів, необхідним є планування процесу заряджання та узгодження режиму роботи зарядної станції з електричною мережею. Таким чином, структура парку та циклу руху електромобілів, стратегія зарядки та режим роботи зарядних станцій мають суттєвий вплив на ефективність функціонування енергосистеми та електричних мереж.

Очевидно, що автотранспортне підприємство, яке здійснює вантажоперевезення у місті за допомогою електромобілів, матиме власну зарядну станцію та купуватиме електроенергію на енергоринку для забезпечення роботи парку електромобілів, тобто для власного використання. Таким чином, згідно з [5] парк електромобілів автотранспортного підприємства слід розглядати як кінцевий споживач енергії. Разом з тим, з метою зменшення витрат на електроенергію, отриману з енергосистеми, автотранспортне підприємство використовуватиме відновлювані джерела енергії (наприклад, сонячну електростанцію) для забезпечення роботи зарядної станції, а також накопичення електроенергії (за можливості) у години зниженого навантаження. Розвиток технології двонаправленої зарядки дозволяє використовувати електромобілі не лише для вирівнювання графіка електричного навантаження енергосистеми (використовуючи технологію керованої зарядки), але і як накопичувачі енергії від сонячних електростанцій та джерела енергії для покриття пікових навантажень. Автотранспортне підприємство, що має парк електромобілів, може заряджати автомобілі в години, коли електроенергія дешевша, і продавати електроенергію в енергосистему в години пікового навантаження або коли машини не використовуються. Це посилює роль парку електромобілів в управлінні попитом на електроенергію не лише як активного споживача електроенергії, а й як учасника енергоринку.

Функціонування парку електромобілів автотранспортного підприємства як об'єкту управління є складною динамічною системою, що характеризується великим обсягом інформації, наявністю інформаційних зв'язків між об'єктами предметної області, а також необхідністю регулярного обміну інформацією. Забезпечення підвищення рівня ефективності функціонування складної системи має базуватись на засадах інтелектуального управління. Принциповою є здатність суб'єкта управління вимірювати та спостерігати поведінку об'єкта управління. У сучасних умовах реалізація енергоменеджменту потребує використання інформаційних технологій для інтеграції контролю та управління технологічними процесами та енергоспоживанням з урахуванням методів управління режимами роботи енергосистеми. Стратегія інтелектуального управління будь-якою складною системою передбачає інтеграцію в єдиній базі даних інформації про всі показники її функціонування та фактори, що впливають на ефективність енергоспоживання. Така інтеграція передбачає використання систем збору даних, хмарних технологій, зберігання та обробки інформації, а також інтелектуального аналізу даних для планування та контролю технологічних, енергетичних, економічних параметрів, а також зворотний зв'язок та прийняття рішень. Таким чином, інтелектуальну систему енергоменеджменту на будь-якому сучасному об'єкті слід розглядати як комп'ютерну інформаційно-аналітичну систему, що базується на використанні інтелектуальних систем збору, зберігання, обробки та аналізу даних, що передбачає всебічний моніторинг (тобто вимірювання, спостереження, аналіз, планування та контроль) всіх складових ефективного енергетичних витрат, стійку роботу енергосистеми, скорочення викидів CO₂ та сталий розвиток у цілому. При цьому, моніторинг енергоефективності, заснований на збиранні інформації про об'єкт дослідження та спрямований на перевірку дотримання режимів енергоспоживання, виконання запланованих заходів та режимів роботи, дотримання встановлених значень енергетичних показників, відповідно до стандарту ISO 50001 [17] є обов'язковою складовою енергоменеджменту.

Вирішення питання енергоефективності роботи парку електромобілів підприємства вимагає аналізу енергоефективності самого парку електромобілів, ефективності організації вантажоперевезень, а також режиму роботи зарядної станції для виявлення причин неефективного використання електроенергії та прийняття рішення для підвищення рівня енергоефективності вантажоперевезень, сталого розвитку електромобільності та ефективності функціонування локальних електричних мереж та енергосистеми в цілому. Для вирішення завдань моніторингу енергоефективності першим етапом є отримання інформації та формування баз фактичних даних, що характеризують стан, умови та ефективність функціонування парку

електромобілів та стан навколишнього середовища. Для забезпечення взаємодії зарядної станції як «активного споживача» та енергетичної компанії необхідним є впровадження системи моніторингу режиму роботи зарядної станції. Такий моніторинг передбачає спільне вирішення низки завдань: моніторинг процесу зарядки електромобілів, підключених до зарядної станції; моніторинг навантаження, яке створюється зарядною станцією, на електричну мережу; мінімізацію електроспоживання; мінімізація витрат за електроенергію, а також зниження пікових навантажень та вирівнювання графіка навантаження енергосистеми. Забезпечення спільного урахування різних складових потребує організації комплексного моніторингу енергоефективності функціонування парку електромобілів та розробки системи його інформаційного забезпечення.

Інформаційна система моніторингу - система спеціально організованого відстеження стану та поведінки об'єкта управління, а також навколишнього середовища за сукупністю узгоджених критеріїв та показників для визначення відповідності їх фактичних та планових значень. Це система збору та накопичення даних (про обсяги спожитої енергії, основні характеристики технічних, технологічних, експлуатаційних та зовнішніх факторів, що впливають на енергоспоживання) з метою отримання оперативної інформації та її використання в складних моделях аналізу, прогнозування, комплексної оцінки стану об'єкта управління, вирішення завдань підвищення ефективності його функціонування та мінімізації витрат на енергоресурси. Інформаційна система комплексного моніторингу енергоефективності парку електромобілів орієнтована на використання Web-технологій, тобто формування баз та сховищ даних, компонентів збору, оцінки, інтелектуальної обробки інформації, візуалізації результатів її обробки для передачі в систему енергоменеджменту та прийняття управлінських рішень. Цифровізація виробництва та впровадження технологій «Інтернету речей» (IoT), аналізу великих даних, машинного навчання дозволяють забезпечити двосторонній зв'язок між пристроями IoT (системами контролю та обліку споживання та генерації енергії, давачами технологічних параметрів, виконавчими механізмами тощо) та реалізацію завдань моніторингу та його функцій.

Інформаційна система моніторингу енергоефективності є сукупністю низки складних підсистем (рис. 1), які складаються з способів, прийомів та методів для забезпечення збору, зберігання, обробки та аналізу інформації.

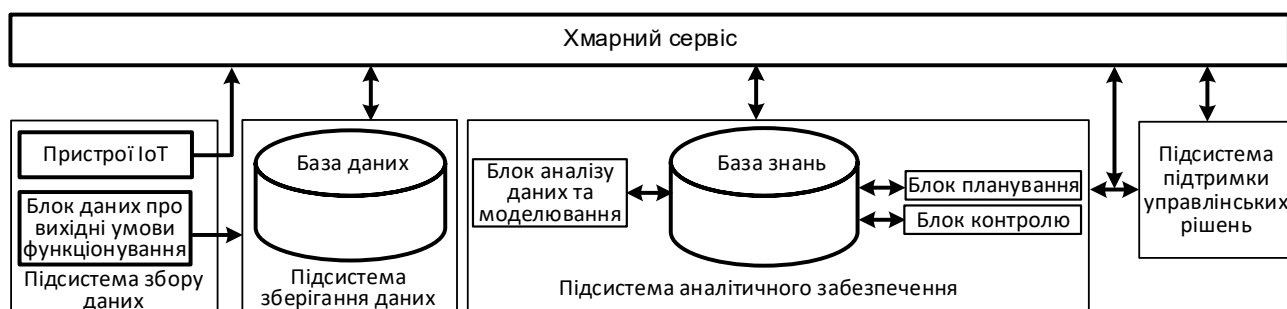


Рисунок 1 – Складові системи інформаційно-аналітичного забезпечення моніторингу енергоефективності

Підсистема збору, попередньої обробки та зберігання даних реалізується на базі технології IoT, забезпечує під'єднання розподілених вимірювальних пристроїв, зв'язок між контрольними пунктами та хмарним сервісом, виконує прийом потоків інформації від локальних вимірювальних підсистем, перевірку та перетворення даних у формати, зручні для зберігання та подальшої обробки. Інформаційними джерелами є датчики та контрольно-вимірювальні прилади систем обліку споживання енергоресурсів, контролю руху та

управління електромобілем, контролю міського трафіку, логістичної системи вантажоперевезень, а також системи контролю параметрів електричної мережі та джерел розподіленої генерації (якщо такі джерела передбачені у локальній електричній мережі). Підсистема забезпечує збирання даних моніторингу, їх обробку, консолідацію, передачу на хмарний сервіс та розміщення у БД для подальшого використання в підсистемі аналітичного забезпечення. Підсистема аналітичного забезпечення складається з набору алгоритмів та методів для реалізації обчислювальних процедур - обчислювальних агентів. Кожен обчислювальний агент відповідає за реалізацію певного завдання (формалізованого опису, розпізнавання та класифікації, моделювання, прогнозування, контролю тощо), отримує необхідну інформацію з бази даних та знаходиться у чітко визначеній взаємодії з іншими агентами. Результати роботи обчислювальних агентів зберігаються в базі знань та використовуються для підтримки прийняття управлінських рішень. База знань оновлюється за результатами роботи обчислювальних агентів після виявлення змін в структурі даних, в тому числі, після управлінських впливів.

Складність об'єкту управління та багатозадачність моніторингу енергоефективності вимагає пошуку компромісу між деталізацією опису об'єкту, щоб відобразити особливості його функціонування, та простотою опису, щоб спростити розв'язок задачі. Для побудови системи інформаційно-аналітичного забезпечення моніторингу енергоефективності парку електромобілів автотранспортного підприємства використано підхід стратифікованого представлення складних систем, який дає змогу розділити глобальне завдання моніторингу на окремі задачі та описати систему (проблему) набором характеристик з урахуванням відповідного рівня абстрагування (страсти) [18]. На кожній страті може використовуватися свій опис, своя модель, свої цілі та критерії ефективності. Це спрощує опис об'єктів фізичної системи на інформаційному рівні, процедур-алгоритмів прикладного рівня, формування бази даних та запити даних для реалізації процедур-алгоритмів [19], проте зберігає їхню підпорядкованість єдиній меті. Всі підсистеми моніторингу незалежно від їх функцій об'єднані єдиним інформаційним простором. Результатом їхнього функціонування є формування єдиної бази знань для прийняття рішень щодо підвищення енергоефективності парку електромобілів автотранспортного підприємства.

Формалізацію процедури комплексного моніторингу енергоефективності парку електромобілів автотранспортного підприємства здійснено з використанням об'єктно-орієнтованої технології. Об'єкти середовища представлено за допомогою класів з об'єднаними властивостями і правилами існування. В архітектурі інформаційної технології комплексного моніторингу енергоефективності парку електромобілів виділено такі категорії класів: DATA-class - сукупність класів, об'єднаних процедурою отримання вихідної інформації про об'єкт дослідження; ANALYSIS&MODELING-class – сукупність класів, об'єднаних обчислювальними алгоритмами та моделями; CONTROL-class – сукупність класів, об'єднаних процедурами виконання контролю енергоефективності функціонування парку електромобілів. Кожен клас містить низку підкласів, які реалізують завдання класу. Опис структури даних та функцій інформаційної технології моніторингу енергоефективності з урахуванням виділених категорій класів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Об'єкти інформаційної технології моніторингу енергоефективності

Категорія	Клас	Підклас	Опис структури даних/функцій
DATA-class	Парк Електро-мобілів	Технічні характеристики електромобіля	Вантажопідйомність, потужність батареї, запас ходу тощо
		Технічні характеристики парку	Кількість та тип транспортних засобів, тривалість експлуатації за одиницю часу за типами транспортних засобів тощо

Категорія	Клас	Підклас	Опис структури даних/функцій	
		електромобілів		
	Кліматичні чинники		Температура повітря, кількість та тип опадів тощо	
	Вантажо-перевезення		Обсяги, час, маршрут доставки товару, швидкість руху тощо за типами транспортних засобів	
	Зарядна станція		Кількість транспортних одиниць, що отримали зарядку за одиницю часу, тривалість зарядки тощо	
	Електро-споживання		Кількість спожитої електроенергії за одиницю часу, графік електроспоживання, кількість спожитої електроенергії електромобілем за типом транспортного засобу тощо	
	Електрична мережа		Графік електричного навантаження, тарифи на електричну енергію тощо	
	ВДЕ		Тип ВДЕ, об'єм генерація електроенергії за одиницю часу, профіль генерації електроенергії.	
ANALYSIS & MODELIN G-class	Доставка товару	Маршрут доставки	Опис, аналіз та оптимізація маршруту доставки товару, виявлення та ідентифікація циклічних змін попиту на вантажоперевезення	
		Режим роботи електромобілів	Формалізований опис вантажоперевезення для типових умов роботи, коригування характеристик вантажоперевезення та його маршруту з урахуванням циклічних змін попиту, планування енергоефективних режимів роботи парку електромобілів	
	Електро-споживання	Електроспоживання електромобіля	Побудова моделей електроспоживання для електромобілів різних типів з урахуванням кліматичних факторів, визначення базового рівня електроспоживання електромобілів різних типів	
		Електроспоживання парку електромобілів	Побудова моделей електроспоживання парку електромобілів підприємства з урахуванням циклічних змін попиту; визначення базового рівня електроспоживання парку електромобілів підприємства для типових умов роботи	
	Робота з електричною мережею	Зарядка електромобіля	Формування профілю зарядки електромобіля з урахуванням характеристик батареї та графіка його роботи	
		Зарядки парку електромобілів	Планування графіка зарядки парку електромобілів з урахуванням графіків їх роботи, формування профілю зарядки парку електромобілів	
		Навантаження електричної мережі	Оптимізація електроспоживання парку електромобілів, підключених до зарядної станції; планування профілю навантаження зарядної станції	
		Розрядка парку електромобілів	Визначення обсягів електроенергії для генерації електромобілями в електричну мережу з урахуванням залишкового заряду батареї; планування графіка роботи парку електромобілів на електричну мережу з урахуванням графіків їх роботи	
			Генерація	Визначення обсягів генерації електроенергії від

Категорія	Клас	Підклас	Опис структури даних/функцій
		електроенергії від ВДЕ	джерел відновлюваної енергії з урахуванням кліматичних факторів, формування профілю генерації електроенергії від джерел відновлюваної енергії, формування профілю навантаження зарядної станції на електричну мережу з урахуванням профілю генерації
	Показники енергоефективності	Показники енергоефективності парку електромобілів	Визначення коефіцієнтів енергоефективності електромобілів парку автотранспортного підприємства, що беруть участь у вантажоперевезеннях
		Показники енергоефективності вантажоперевезення	Визначення коефіцієнтів енергоефективності вантажоперевезень автотранспортного підприємства
		Показники енергоефективності зарядної станції	Визначення коефіцієнтів енергоефективності режимів роботи зарядної станції автотранспортного підприємства
	Бенчмаркінг енергоефективності	Енергоефективність електромобілів	Порівняльний аналіз (внутрішній та зовнішній) та оцінки рівня енергоефективності парку електромобілів, що беруть участь у вантажоперевезеннях, встановлення завдань для його підвищення
		Енергоефективність вантажоперевезень	Порівняльний аналіз (внутрішній та зовнішній) та оцінка рівня енергоефективності вантажоперевезень автотранспортного підприємства, встановлення завдань для його підвищення
	CONTROL-class	Оперативний контроль	Контроль електроспоживання
Контроль вантажоперевезення			Контроль характеристик вантажоперевезень та виявлення причин недотримання планових значень електроспоживання
Контроль показників енергоефективності			Контроль показників енергоефективності функціонування парку електромобілів та динаміки питомого електроспоживання для виявлення тенденцій у зміні рівня енергоефективності
Контроль роботи з мережею			Контроль профілю електричного навантаження зарядної станції
Бенчмаркінг-контроль		Контроль показників енергоефективності	Аналіз динаміки рівня енергоефективності парку електромобілів підприємств, аналіз динаміки показників енергоефективності електромобілів
		Контроль вантажоперевезення	Аналіз динаміки показників енергоефективності вантажоперевезення

Кожен підклас має певні правила його реалізації (алгоритми розрахунків, процедури та комунікації), які забезпечують доступ до даних та виконують операції для вирішення задачі. Результатом є інформація, яка агрегується в базі даних та/або базі знань. Частина інформації є вихідною для реалізації функціонування інших класів та підкласів, а частина використовується для ухвалення рішення щодо підвищення рівня енергоефективності функціонування парку електромобілів та автотранспортного підприємства в цілому.

Висновки. Ефективність функціонування автотранспортного підприємства визначається ефективністю організації вантажоперевезень та енергоефективністю самого парку електромобілів. Крім того, стратегія заряджання електромобілів та режим роботи зарядної станції підприємства мають суттєвий вплив на ефективність функціонування електричних мереж. Тому, парк електромобілів автотранспортного підприємства розглядається не лише як кінцевий споживач енергії, а й як «активний» споживач енергії та учасник енергоринку. Такий підхід потребує спільного вирішення комплексу завдань та врахування всіх аспектів функціонування парку електромобілів та обмежень енергосистеми. Комплексність проблеми енергоефективності, складність об'єкта дослідження, необхідність всебічного обліку інформації різного характеру від різних джерел потребує організації моніторингу ефективності стану парку електромобілів, організації графіка та маршруту вантажоперевезень, електроспоживання, впливових внутрішніх та зовнішніх факторів. Слід зазначити, що система моніторингу розглядається як складова інформаційного забезпечення підтримки прийняття управлінських рішень для реалізації принципів інтелектуального управління. Тобто, основою функціонування системи моніторингу є інтеграція (накопичення, зберігання та обробка) інформації про всі показники функціонування об'єкта дослідження та фактори, що впливають на ефективність функціонування та енерговикористання, в єдиній базі даних, інтелектуальний аналіз отриманих даних, планування та контроль технологічних, енергетичних, економічних параметрів.

Для формалізації процесу інформаційно-аналітичного забезпечення моніторингу енергоефективності функціонування парку електромобілів автотранспортного підприємства використано об'єктно-орієнтований підхід, що дозволило виконати декомпозицію розглянутої проблеми на окремі концептуальні класи та спростити опис складових проблеми та відповідних процедур-алгоритмів. Запропонована структура забезпечує збір та консолідацію в єдиній базі даних інформації про умови функціонування парку електромобілів та чинники, що визначають його ефективність. Інтелектуальний аналіз отриманих даних сприятиме виявленню циклічних змін умов роботи, зумовлених впливом зовнішніх (соціальних чи кліматичних) факторів. Систематизація отриманої інформації дозволить своєчасно реагувати на зміни умов роботи об'єкта та коригувати графік вантажоперевезень та зарядки електромобілів, а також профіль електричного навантаження зарядної станції.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Council Decision (EU) 2016/590 of 11 April 2016 on the signing, on behalf of the European Union, of the Paris Agreement adopted under the United Nations Framework Convention on Climate Change. *Official Journal of the European Union*. 103. 1–2. 2016. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32016D0590&qid=1648304505396>
2. Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law') PE/27/2021/REV/1. *Official Journal of the European Union*. 243. 1–17. 2021. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32021R1119&qid=1649260090324>
3. Communication from the commission to the European Parliament, the European Council, the

- Council, the European Economic and Social Committee and The Committee of the Regions. The European Green Deal. Brussels : European commission 2019, COM(2019) 640. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1576150542719&uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>
4. Credible pathways to 1.5°C: Four pillars for action in the 2020s. IEA, Paris. 17 p. 2023. URL: <https://www.iea.org/reports/credible-pathways-to-150c>
 5. Directive (EU) 2019/944 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on common rules for the internal market for electricity and amending Directive 2012/27/EU (Text with EEA relevance.). *Official Journal of the European Union*. 158. 125–199. 2019. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2019/944/oj>
 6. N. Jewell; L. Bai; J.F. Naber; M. L. McIntyre Analysis of electric vehicle charge scheduling and effects on electricity demand costs. *Energy Systems*. 5 (4). 767–786. 2014. <https://doi.org/10.1007/s12667-013-0114-0>
 7. P.-Y. Kong, G.K. Karagiannidis. Charging Schemes for Plug-In Hybrid Electric Vehicles in Smart Grid. *IEEE Access*. 4. 6846–6875. 2016. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2614689>
 8. Z. Fotouhi, M. R. Hashemi, H. Narimani, I. S. Bayram. A General Model for EV Drivers' Charging Behavior. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 68. 8. 7368-7382. 2019. <https://doi.org/10.1109/TVT.2019.2923260>.
 9. H. Liang, Z. Lee, G. Li. A Calculation Model of Charge and Discharge Capacity of Electric Vehicle Cluster Based on Trip Chain. *IEEE Access*. 8. 142026-142042. 2020, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3014160>.
 10. X. Wang, C. Sun, R. Wang, T. Wei. Two-Stage Optimal Scheduling Strategy for Large-Scale Electric Vehicles. *IEEE Access*. 8. 13821 – 13832. 2020. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2966825>
 11. J. Hu, H. Morais, T. Sousa, M. Lind. Electric vehicle fleet management in smart grids: a review of services, optimization and control aspects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 56. 1207-1226. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.014>
 12. European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference Document on Best Available Techniques for Energy Efficiency. Seville: Institute for Prospective Technological Studies, European IPPC Bureau, 2008. 430 p. URL: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/ene.html>
 13. C. Herce, E. Biele, C. Martini, M. Salvio, C. Toro. 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*. 14. 4723. 2021. <https://doi.org/10.3390/en14164723>
 14. G.Valencia-Ochoa, K. Rodriguez-Rodriguez, G. Torregroza-Matos, C. Acevedo-Penalozza, J. Duarte-Forero. Implementation of the ISO 50001 standard to sustainable energy and economic saving the industrial sector. *Scientia et Technica*. 25. 154-165. 2020. <https://doi.org/10.22517/23447214.23541>,
 15. T.-Y. Chiu, S.-L. Lo, Y.-Y. Tsai. Establishing an Integration-Energy-Practice Model for Improving Energy Performance Indicators in ISO 50001 Energy Management Systems. *Energies*. 5 (12). 5324–5339. 2012. <https://doi.org/10.3390/en5125324>
 16. V. A. Silva Gonçalves, F. J. Mil-Homens dos Santos. Energy management system ISO 50001:2011 and energy management for sustainable development. *Energy Policy*. 133. 110868. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.07.004>
 17. ISO 50001:2018(E) Energy management systems - Requirement with guidance for use (second edition). ISO, 2018. 30 p.
 18. L. Davydenko. Indicators system creation for the energy efficiency benchmarking of

municipal power system facilities. *Problemele energeticii regionale*. 1 (27). 58-70. 2015.

19. I. Korobiichuk, L. Davydenko, V. Davydenko, N. Davydenko. Information support the operative control procedures of energy efficiency of operation modes of municipal water supply system facilities. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 920. 571-582. 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-13273-6_53

REFERENCES

1. Council Decision (EU) 2016/590 of 11 April 2016 on the signing, on behalf of the European Union, of the Paris Agreement adopted under the United Nations Framework Convention on Climate Change. *Official Journal of the European Union*. 103. 1–2. 2016. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32016D0590&qid=1648304505396>
2. Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law') PE/27/2021/REV/1. *Official Journal of the European Union*. 243. 1–17. 2021. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32021R1119&qid=1649260090324>
3. Communication from the commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and The Committee of the Regions. The European Green Deal. Brussels : European commission 2019, COM(2019) 640 final. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1576150542719&uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>
4. Credible pathways to 1.5°C: Four pillars for action in the 2020s. IEA, Paris. 17 p. 2023. URL: <https://www.iea.org/reports/credible-pathways-to-150c>
5. Directive (EU) 2019/944 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on common rules for the internal market for electricity and amending Directive 2012/27/EU (Text with EEA relevance.). *Official Journal of the European Union*. 158. 125–199. 2019. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2019/944/oj>
6. N. Jewell; L. Bai; J.F. Naber; M. L. McIntyre Analysis of electric vehicle charge scheduling and effects on electricity demand costs. *Energy Systems*. 5 (4). 767–786. 2014. <https://doi.org/10.1007/s12667-013-0114-0>
7. P.-Y. Kong, G.K. Karagiannidis. Charging Schemes for Plug-In Hybrid Electric Vehicles in Smart Grid. *IEEE Access*. 4. 6846–6875. 2016. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2614689>
8. Z. Fotouhi, M. R. Hashemi, H. Narimani, I. S. Bayram. A General Model for EV Drivers' Charging Behavior. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 68. 8. 7368-7382. 2019. <https://doi.org/10.1109/TVT.2019.2923260>.
9. H. Liang, Z. Lee, G. Li. A Calculation Model of Charge and Discharge Capacity of Electric Vehicle Cluster Based on Trip Chain. *IEEE Access*. 8. 142026-142042. 2020, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3014160>.
10. X. Wang, C. Sun, R. Wang, T. Wei. Two-Stage Optimal Scheduling Strategy for Large-Scale Electric Vehicles. *IEEE Access*. 8. 13821 – 13832. 2020. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2966825>
11. J. Hu, H. Morais, T. Sousa, M. Lind. Electric vehicle fleet management in smart grids: a review of services, optimization and control aspects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 56. 1207-1226. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.014>
12. European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference Document on Best Available Techniques for Energy Efficiency. Seville: Institute for Prospective

Technological Studies, European IPPC Bureau, 2008. 430 p. URL: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/ene.html>

13. C. Herce, E. Biele, C. Martini, M. Salvio, C. Toro. 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*. 14. 4723. 2021. <https://doi.org/10.3390/en14164723>

14. G. Valencia-Ochoa, K. Rodriguez-Rodriguez, G. Torregroza-Matos, C. Acevedo-Penaloza, J. Duarte-Forero. Implementation of the ISO 50001 standard to sustainable energy and economic saving the industrial sector. *Scientia et Technica*. 25. 154-165. 2020. <https://doi.org/10.22517/23447214.23541>,

15. T.-Y. Chiu, S.-L. Lo, Y.-Y. Tsai. Establishing an Integration-Energy-Practice Model for Improving Energy Performance Indicators in ISO 50001 Energy Management Systems. *Energies*. 5 (12). 5324–5339. 2012. <https://doi.org/10.3390/en5125324>

16. V. A. Silva Gonçalves, F. J. Mil-Homens dos Santos. Energy management system ISO 50001:2011 and energy management for sustainable development. *Energy Policy*. 133. 110868. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.07.004>

17. ISO 50001:2018(E) Energy management systems - Requirement with guidance for use (second edition). ISO, 2018. 30 p.

18. L. Davydenko. Indicators system creation for the energy efficiency benchmarking of municipal power system facilities. *Problemele energeticii regionale*. 1 (27). 58-70. 2015.

19. I. Korobiichuk, L. Davydenko, V. Davydenko, N. Davydenko. Information support the operative control procedures of energy efficiency of operation modes of municipal water supply system facilities. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 920. 571-582. 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-13273-6_53

L. DAVYDENKO

Lutsk National Technical University

Information and Analytical Support for Monitoring the Energy Efficiency of Electric Vehicle Fleet Operation. This article examines aspects of implementing energy efficiency monitoring for an electric vehicle fleet operating in an urban environment. Monitoring is considered as a tool of intelligent energy management for a motor transport enterprise. The electric vehicle fleet is viewed not only as an active consumer of electricity, but also as a participant in the energy market. The monitoring task is considered from the perspective of ensuring sustainable e-mobility and efficient enterprise operation. In addition, issues related to the integration of the electric vehicle fleet into the power grid and its impact on the electrical load of the energy system are also taken into account. A set of tasks for monitoring the energy efficiency of an electric vehicle fleet has been formulated to support managerial decision-making aimed at improving the energy efficiency of motor transport enterprise operations. The system of information and analytical support for monitoring the energy efficiency of an electric vehicle fleet is considered as a set of complex subsystems focused on data collection, processing, and storage, as well as data analysis, modeling, and energy efficiency control. A stratified representation approach for complex systems has been applied to solve the problem of multitasking in energy efficiency monitoring. This made it possible to simplify the description of the components of the information and analytical support system. Data collection, preprocessing, and storage are implemented on the basis of IoT technology. The analytical support subsystem consists of computational agents, each of which ensures the solution of a specific monitoring task. Object-oriented technology has been applied to formalize the system of information and analytical support for monitoring the energy efficiency of an electric vehicle fleet. The system objects are represented through three categories of classes. These class categories have integrated properties and

ensure the functioning of the monitoring subsystems. The description of data structures and class functions has been developed taking into account the formulated monitoring tasks.

Keywords: energy efficiency, electric vehicle fleet, information and analytical support, stratified representation of complex systems, object-oriented technology.