АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 330.3 https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12(43).1.375-382

А. В. Йовченко, канд. техн. наук
Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна
e-mail: a.yovchenko@chdtu.edu.ua

Підвищення енергоефективності, екологічності та енергетичної незалежності автотранспортних підприємств

Розглянуто енергоаудиторські заходи для підвищення енергоефективності автотранспортного підприємства в умовах енергетичної нестабільності. Запропоновано комплекс рішень, зокрема зниження теплових втрат, оптимізацію енергоспоживання, модернізацію освітлення й водопостачання, а також впровадження альтернативних джерел енергії. Окрему увагу приділено доцільності використання твердопаливних котлів і сонячних колекторів для підвищення автономності та екологічності енергозабезпечення. Використання відновлюваних джерел енергії визначено як стратегічно важливе для стабільної роботи транспортної галузі в умовах воєнного стану. Проаналізовано потенціал таких систем щодо зменшення залежності від централізованого електропостачання, скорочення експлуатаційних витрат на енергозабезпечення та зниження негативного впливу на навколишнє середовище.
автотранспортне підприємство, енергетична автономія, сонячні енергосистеми, енергоефективність, відновлювані джерела енергії

Постановка проблеми. В умовах воєнного стану в Україні автотранспортні підприємства (АТП) зіштовхуються з проблемою нестабільності електропостачання та необхідністю забезпечення безперервного функціонування виробничих процесів, що негативно впливає на функціональну діяльність АТП, зарядки електричних транспортних засобів (ТЗ), а також для забезпечення роботи офісних і технічних систем АТП.

При підвищенні вартості енергоресурсів та необхідності зменшення викидів парникових газів особливої актуальності набуває питання енергоефективної роботи АТП. Зростаючі вимоги до екологічності та енергетичної автономності вимагають впровадження інноваційних підходів до управління енергоспоживанням. Енергоаудит є інструментом системного аналізу енергоспоживання підприємства, що дозволяє виявити джерела енергетичних втрат, оптимізувати процеси та обґрунтувати впровадження сучасних енергозберігаючих технологій. Зокрема, результати енергоаудиту є основою для прийняття техніко-економічно доцільних рішень щодо інтеграції відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні електростанції (СЕС), з метою підвищення енергоефективності, екологічності та енергетичної незалежності АТП.

Впровадження СЕС в АТП виступає ефективним інструментом підвищення енергетичної автономії, оптимізації експлуатаційних витрат та забезпечення енергетичної безпеки АТП. Водночас, при реалізації таких рішень необхідно враховувати специфічні умови воєнного часу, зокрема підвищені ризики фізичних пошкоджень обладнання, потребу у його надійному захисті, а також забезпечення оперативної адаптації енергетичних систем до змінних умов експлуатації. Державна підтримка та зниження вартості відновлюваних джерел енергії створюють сприятливі передумови для широкомасштабного впровадження даних технологій у секторі АТП.

Зниження вартості фотоелектричних модулів, а також державна підтримка у

© А. В. Йовченко, 2025

вигляді пільг, грантових програм і спрощеного митного оформлення обладнання для відновлюваної енергетики сприяють підвищенню доступності впровадження сонячних енергетичних систем для АТП. Водночас реалізація таких інвестиційних проєктів вимагає детального планування з урахуванням ризиків, обумовлених воєнним станом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У контексті зростання енергетичної нестабільності, зумовленої як глобальними викликами, так і збройною агресією на території України, дедалі більше наукових праць присвячено питанням забезпечення енергонезалежності критичних інфраструктур, зокрема АТП. У працях [1–3] розглядаються можливості впровадження відновлюваних джерел енергії як одного з ключових шляхів досягнення енергетичної автономності підприємств.

Проведення якісного енергоаудиту дозволяє виявити основні втрати енергії в будівлях, оптимізувати споживання ресурсів, а також обґрунтувати доцільність інвестицій у модернізацію систем опалення, вентиляції, освітлення та СЕС [4-6].

Імплементація сонячних енергетичних технологій сприяє зниженню залежності від традиційних викопних енергоресурсів, скороченню обсягів викидів вуглекислого газу та відповідає стратегічним пріоритетам України у сфері досягнення енергетичної незалежності й забезпечення сталого розвитку, включаючи адаптацію енергетичної системи до умов воєнного часу [7–9].

У контексті поступового наближення українського законодавства до норм Європейського Союзу через імплементацію екологічних та енергетичних директив, спостерігається зростання інтересу населення до впровадження сонячних електростанцій на побутовому рівні. Цей вид відновлюваної енергетики демонструє стабільне зростання популярності як серед приватних домогосподарств, так і серед АТП, що прагнуть підвищити рівень енергетичної автономії.

Постановка завдання. В умовах зростаючої енергетичної вразливості, спричиненої воєнними діями та кліматичними змінами, актуальним стає підвищення енергоефективності та енергетичної автономності АТП. Науково й практично важливим є визначення потенціалу впровадження сонячних енергетичних систем в інфраструктуру АТП для забезпечення автономного енергопостачання, зниження витрат і екологічного навантаження, що супроводжується розробленням рекомендацій щодо енергоефективної модернізації будівель.

Метою дослідження є обґрунтування можливостей впровадження сонячних електростанцій на АТП України в умовах воєнного стану для підвищення їх енергетичної незалежності та стабільності функціонування шляхом проведення енергоаудиту будівель та розроблення відповідних рекомендацій щодо енергозабезпечення.

Для цього необхідно вирішити наступні задачі:

1. Виконати комплексний енергоаудит АТП, вказати заходи для визначення найбільш вразливих місць.

2. Згідно проведеного енергоаудиту надати рекомендації щодо підвищення ефективності енергозабезпечення АТП.

3. Обгрунтувати можливість впровадження СЕС в інфраструктуру АТП.

Виклад основного матеріалу. Для підвищення ефективності енергозабезпечення АТП доцільним є проведення енергоаудиту його будівель, що передбачає виконання таких заходів у відповідності до чинних нормативних вимог:

1. Розрахунок теплового навантаження підприємства з формуванням теплового балансу відповідно вимог [10], з урахуванням втрат тепла через огороджувальні конструкції (зовнішні та внутрішні стіни, вікна, двері, підлогу, покрівлю), а також втрат, зумовлених вентиляційними процесами.

2. Проведення тепловізійної діагностики відповідно [11] з метою визначення місць підвищених теплових втрат, виявлення дефектів огороджувальних конструкцій, зон накопичення вологи, порушень герметичності віконних і дверних блоків, а також локалізації гідравлічних застоїв у системах опалення. Обстеження проводиться за температурного перепаду між зовнішнім та внутрішнім повітрям не менше 15 °С.

3. Оптимізація водоспоживання підприємства з метою зменшення втрат води, зокрема за рахунок модернізації систем водопостачання, впровадження регуляторної арматури, систем обліку та контролю витрат.

4. Розроблення проєкту енергоефективного освітлення, що передбачає заміну застарілих джерел світла на світлодіодні системи з автоматизованим керуванням.

5. Проєктування автономної котельні для забезпечення надійного та енергоефективного теплозабезпечення підприємства з урахуванням локальних ресурсів та режиму роботи об’єкта.

6. АТП, як енергоємні об’єкти з розвиненою інфраструктурою, є перспективною сферою для впровадження технологій відновлюваної енергетики, зокрема сонячних енергетичних систем [12]. Ефективна інтеграція таких систем в енергетичну інфраструктуру АТП дозволяє не лише знизити експлуатаційні витрати, а й забезпечити стабільне енергозабезпечення об’єктів підприємства, зменшити залежність від централізованих джерел енергії та мінімізувати викиди парникових газів.

Сонячні фотоелектричні установки можуть бути ефективно інтегровані в інфраструктуру АТП шляхом розміщення як на дахах будівель АТП, так і на прилеглих до них територіях — зокрема, на наземних опорних конструкціях або у вигляді функціональних сонячних навісів. Такі навіси можуть виконувати додаткову інфраструктурну роль, слугуючи критими паркувальними місцями для ТЗ.

Встановлення сонячних навісів забезпечує підприємствам можливість отримання екологічно чистої та відносно дешевої електроенергії з відновлюваного джерела, що сприяє зниженню витрат на енергозабезпечення. Окрім того, такі конструкції підвищують рівень комфортності для персоналу та клієнтів, захищаючи ТЗ від несприятливих атмосферних впливів (опади, перегрів у сонячну погоду) та знижуючи споживання енергії на кондиціювання повітря в салонах автомобілів.

Сонячні навіси для автомобілів являють собою інженерні конструкції, що поєднують функцію покриття паркувального простору з можливістю генерування електроенергії за допомогою фотоелектричних модулів. Основна конструктивна особливість таких систем полягає у підвищеній висоті монтажу сонячних панелей, яка забезпечує необхідний простір для безперешкодного пересування і стоянки ТЗ. За техніко-енергетичними характеристиками сонячні навіси є аналогами наземних сонячних електростанцій, але мають додаткову перевагу в ефективному використанні вже наявної інфраструктури.

Одна з ключових переваг сонячних навісів полягає у мінімальній потребі в додатковому виділенні земельних ресурсів, що особливо важливо в умовах обмеженого простору на територіях АТП. Інтеграція таких систем дозволяє не лише забезпечити потреби підприємства в електроенергії, а й створити умови для покращення мікроклімату на парковках, зниження перегріву ТЗ та, відповідно, скорочення витрат на охолодження.

У випадках, коли в процесі експлуатації системи виникає надлишок генерованої енергії (особливо у літній період), її можливо накопичувати у буферних системах енергозбереження з метою подальшого використання в періоди відсутності інсоляції, або дана енергія може бути передана в електромережу для подальшого використання, що робить систему більш гнучкою та економічно вигідною [13]. Таким чином, сонячні

навіси сприяють формуванню розподіленої енергосистеми АТП, зменшуючи залежність від централізованого енергопостачання.

Крім того, сучасні конструкції можуть бути доукомплектовані зарядними станціями для електротранспорту, що підвищує рівень інфраструктурної готовності підприємства до експлуатації електромобілів і відповідає загальноєвропейському вектору переходу до низьковуглецевих технологій у транспортному секторі [14, 15].

Зокрема, сонячна електроенергія може застосовуватися для заряджання електромобілів [16], освітлення територій, живлення охоронних систем, інформаційного табло, компресорного, насосного та іншого обладнання АТП. Це дозволяє зменшити споживання електроенергії з централізованої мережі та сформувати автономні енергетичні мікросистеми в межах об'єкта.

Законодавчо-правова база України також створює передумови для активного впровадження інфраструктури для електротранспорту. З 1 липня 2019 року набрали чинності зміни до Державних будівельних норм ДБН В.2.3-15:2007 «Автостоянки і гаражі для легкових автомобілів», згідно з якими мінімум 5% машиномісць у новозбудованих або реконструйованих гаражах та автостоянках мають бути обладнані зарядними пристроями для ТЗ з електричними двигунами [17]. Вказані зміни є обов'язковими до виконання і спрямовані на адаптацію міської та промислової інфраструктури до потреб електромобільного транспорту.

Враховуючи вищезазначене, інтеграція фотоелектричних систем з зарядними станціями для електротранспорту на територіях АТП дозволяє поєднати вимоги нормативної відповідності з підвищенням екологічної ефективності та зниженням операційних витрат на електропостачання.

Монтаж металевих конструкцій сонячних навісів може здійснюватися як із використанням затискних опор, що не потребують проведення складних земельних робіт, так і на базі попередньо облаштованих наземних фундаментів. Такий підхід дозволяє скоротити час будівництва та знизити втручання в існуючу інфраструктуру АТП.

Інтеграція зарядних станцій для електромобілів у конструкцію сонячного навісу виступає логічним технологічним доповненням системи. Вона забезпечує зручність для кінцевих користувачів, підвищує загальну функціональність об'єкта та сприяє формуванню сучасного, естетично привабливого архітектурно-технологічного середовища.

Крім визначальних габаритних параметрів, ключовою характеристикою конструкції є кут нахилу фотоелектричних панелей. Залежно від інсоляційних умов та технічних обмежень, можливе використання як однорідних (похилених або горизонтальних) масивів панелей, так і комбінованих рішень. Наприклад, плоскі конструкції можуть поєднуватися з панелями, розташованими під кутом, з метою оптимізації площі покриття паркувального майданчика та забезпечення ефективного збору сонячної енергії. При цьому мінімальний кут нахилу застосовується переважно в конструкціях, орієнтованих на максимальне накриття корисної площі із збереженням достатнього рівня генерації електроенергії.

На рис. 1 представлено структурну схему гібридної сонячної енергетичної системи, до якої входять фотоелектричні модулі, мережевий інвертор, акумуляторну батарею, дизель-генератор та централізовану електромережу. Така конфігурація дозволяє забезпечити безперервне енергопостачання споживача шляхом автоматичного балансування навантаження між різними джерелами енергії з урахуванням пріоритетності, доступності та режимів експлуатації. Система передбачає наявність контролерів, лічильників та засобів керування, що дозволяють здійснювати моніторинг та оптимізацію енергетичних потоків у реальному часі.

У даній енергетичній системі передбачено використання декількох перемикачів, що забезпечують безперебійне електропостачання споживача. Автоматизована система перемикання підключена до центральної енергомережі. За сприятливих умов основним джерелом електроенергії слугує сонячна електростанція. У разі припинення постачання електроенергії з центральної мережі, система автоматично переходить на живлення від акумульованої сонячної енергії, а після її вичерпання – на резервне електропостачання від автономного генератора.

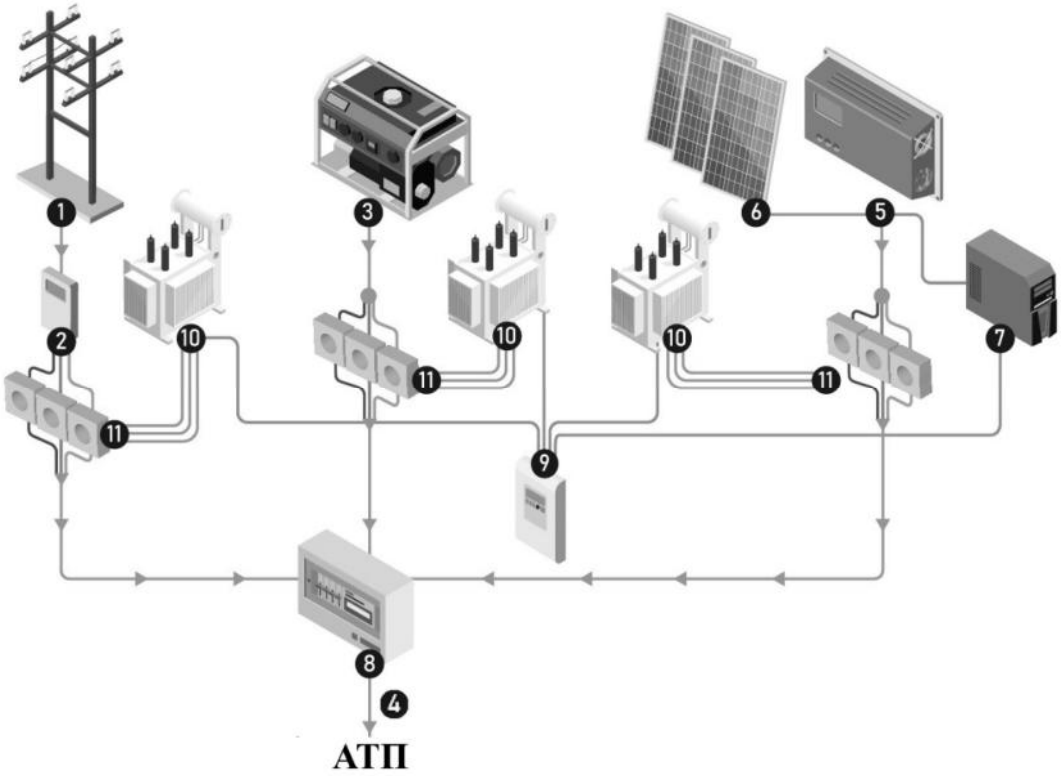

Рисунок 1 – Схема паралельної роботи мережевої сонячної електростанції (СЕС) та генератора:
1 – центральна мережа, 2 – лічильник (ввід від центральної мережі), 3 – генератор, 4 – АТП, 5 – інвертор, 6 – фотоелектричні модулі, 7 – система моніторингу інвертору, 8 – перемикач джерел енергії мережа-генератор (АВР – автоматичний ввід резерву), 9 – контролер управління (ENcombi ECcube2), 10 – лічильник (Meter Pilot SPM33), 11 – трансформатори струму

Джерело: розроблено на підставі [18]

Впровадження пропозицій енергоаудиторських рішень дозволяє комплексно підвищити енергоефективність автотранспортного підприємства за такими напрямами:

1. Зниження теплових втрат будівель досягається за рахунок виявлення конструктивних недоліків огороджувальних елементів за допомогою діагностичного обладнання (зокрема, інфрачервоної термографії) та їх подальшого усунення.

2. Оптимізація енергоспоживання технологічного обладнання здійснюється шляхом впровадження автоматизованої системи моніторингу й контролю за споживанням енергії. Така система передбачає інтеграцію з електролічильниками і спеціалізованим програмним забезпеченням для відстеження енерговитрат по котельнях, компресорах, технологічних лініях тощо.

3. Встановлення нормативів енергоспоживання для модернізованого обладнання в поєднанні з впровадженням системи мотивації персоналу до енергозбереження сприятиме формуванню культури раціонального використання ресурсів на АТП.

4. Підвищення енергоефективності систем освітлення включає визначення необхідної світловіддачі ламп, впровадження гнучкого керування освітленням, оптимального використання природного світла (у т.ч. через забезпечення чистоти світлопрозорих огороджень).

5. Скорочення водоспоживання досягається шляхом встановлення душових пристроїв з ручним регулюванням потоку води та аераційних насадок на змішувачі, що забезпечує зниження витрат без погіршення комфорту користування.

6. Підвищення автономності теплозабезпечення можливе шляхом впровадження альтернативних джерел тепла, зокрема твердопаливних котлів (пелетних і піролізних), які забезпечують тривале горіння та можуть використовуватись як для опалення, так і для гарячого водопостачання з автоматичним регулюванням температури.

Пелетні котельні, як правило, оснащуються автоматизованими системами подачі палива й повітря, що забезпечує ефективне згоряння. Піролізні котли працюють за двоступеневим принципом спалювання деревини з утворенням піролізного газу, що згорає в окремій камері, забезпечуючи ККД до 93% і низький рівень викидів. Вони сумісні з дровами, брикетами та пелетами за вологості не вище 25%, а завдяки вогнетривким матеріалам і автоматичному очищенню теплообмінника мають тривалий ресурс і високу надійність. Для зниження впливу на довкілля застосовуються рукавні фільтри для очищення димових газів.

7. Для отримання теплової енергії запропоновано використовувати всесезонний трубчастий вакуумний колектор закритого типу з насосною станцією. Його ККД становить 95 %. Має високу продуктивність за умов низької інсоляції, що забезпечує збір енергії сонця незалежно від погодних умов. Однак, в зимовий період потребу в гарячій воді АТП, задовільнити трубчастий вакуумний колектор не зможе. Його можна буде використовувати тільки як систему попереднього нагріву.

Висновки. Комплексне впровадження енергоаудиторських пропозицій на АТП сприяє істотному підвищенню їх енергоефективності, зниженню експлуатаційних витрат та зміцненню енергетичної автономності. За рахунок виявлення та усунення теплових втрат, автоматизації контролю енергоспоживання, модернізації систем освітлення і водопостачання, а також використання альтернативних джерел тепла (твердопаливні котли, сонячні колектори, СЕС), підприємства можуть досягти стійкої та екологічно збалансованої експлуатації. Такий підхід дозволяє не лише зменшити залежність від централізованих енергетичних джерел, але й створює основу для розвитку інноваційної енергетичної інфраструктури в умовах сучасних викликів.

АТП мають значний потенціал для впровадження СЕС у вигляді стаціонарних сонячних навісів і електростанцій на їх території. Це сприяє зниженню витрат на енергію, підвищенню екологічної діяльності та створенню комфортних умов для зберігання та обслуговування автотранспорту.

В подальшому планується детально розглянути методи покращення енергоефективності систем освітлення АТП.

Список літератури

1. Sverdlova A. Review of the current state and development perspectives of the solar energy in Ukraine. *System Research in Energy.* 2022. Vol. 1(70). P. 19–28. DOI: https://systemre.org/index.php/journal/article/view/568.
2. Sabishchenko O., Rebilas R., Sczygiol N., Urbanski M. Ukraine Energy Sector Management Using Hybrid Renewable Energy Systems. *Energies.* 2020. Vol. 13. DOI: https://doi.org/10.3390/en13071776.

3. Hossain M. F. Implementation of hybrid wind and solar energy in the transportation sector to mitigate global energy and environmental vulnerability. *Clean Technologies and Environmental Policy.* 2023. Vol. 25. P. 1195–1210. DOI: https://doi.org/10.1007/s10098-022-02437-4.
4. Balaras C. A., Argiriou A. A. Infrared thermography for building diagnostics. *Energy and Buildings.* 2002. Vol. 34, № 2. P. 171–183.
5. Fokaides P. A., Kalogirou S. A. Application of infrared thermography for the determination of the overall heat transfer coefficient (U-Value) in building envelopes. *Applied Energy.* 2011. Vol. 88, № 12. P. 4358–4365.
6. Lucchi E. Applications of the infrared thermography in the energy audit of buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2018. Vol. 82. P. 3077–3090.
7. Енергетична стратегія України на період до 2050 року. *Розпорядження Кабінету Міністрів України* : веб-сайт. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-p#Text (дата звернення: 01.05.2025).
8. Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок. *Міністерство енергетики та вугільної промисловості України* : веб-сайт. URL: zakon.rada.gov.ua/laws/show/796-2017-%D1%80 (дата звернення: 01.05.2025).
9. Закон України «Про альтернативні джерела енергії» від 20.02.2003 № 555-IV. *Законодавство України* : веб-сайт. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15 (дата звернення: 01.05.2025).
10. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель [Чинний від 01.09.2022]. Київ, 2022. 27 с.
11. ДСТУ EN ISO 6781-3:2022. Ефективність будівель. Виявлення нерівномірності тепла, повітря та вологи в будівлях інфрачервоними методами. Частина 3. Кваліфікація операторів обладнання, аналітиків даних і авторів звітів (EN ISO 6781-3:2015, IDT; ISO 6781-3:2015, IDT) [Чинний від 31.12.2023]. Київ, 2022. 28 с.
12. Дьяченко О. С. Інвестиції в сонячну енергетику в децентралізованій енергосистемі як чинник зміцнення енергетичної безпеки України під час війни. *Відновлювана енергетика.* 2024. № 2. С. 73–78. DOI: https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.2(77)73-78.
13. *Trends in Photovoltaic Applications 2023.* International Energy Agency : веб-сайт. URL: https://iea-pvps.org/trends_reports/trends-2023/ (дата звернення: 01.05.2025).
14. *Sustainable and Smart Mobility Strategy.* European Commission : веб-сайт. URL: https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/659455/EPRS_BRI(2021)659455_EN.pdf (дата звернення: 01.05.2025).
15. Kocsis D., Judit T. K., Istvan W. A. Evaluating battery electric vehicle usage in the EU: A comparative study based on member state energy mixes. *Heliyon.* 2024. Vol. 10. DOI: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30655.
16. Nishant Varshney. Transportation Applications of Solar Energy: Innovations and Consequences. *International Journal of Environmental Noise and Pollution Control.* 2023. Vol. 1, Issue 2. P. 39–44. DOI: https://journals.stmjournals.com/ijenpc.
17. ДБН В.2.3-15:2007. Автостоянки і гаражі для легкових автомобілів (із зміною № 1, зміною № 2 та зміною № 3) [Чинний від 31.01.2022]. Київ, 2022. 53 с.
18. Сонячні електростанції для бізнесу. *VoltEnergy* : веб-сайт. URL: https://vseti220-24.com.ua (дата звернення: 01.05.2025).

References

1. Sverdlova, A. (2022). Review of the current state and development perspectives of solar energy in Ukraine. *System Research in Energy, 1(70),* 19–28. systemre.org/index.php/journal/article/view/568 [in Ukrainian].
2. Sabishchenko, O., Rebilas, R., Sczygiol, N., & Urbanski, M. (2020). Ukraine energy sector management using hybrid renewable energy systems. *Energies, 13,* 1776. https://doi.org/10.3390/en13071776.
3. Hossain, M. F. (2023). Implementation of hybrid wind and solar energy in the transportation sector to mitigate global energy and environmental vulnerability. *Clean Technologies and Environmental Policy, 25,* 1195–1210. https://doi.org/10.1007/s10098-022-02437-4.
4. Balaras, C. A., & Argiriou, A. A. (2002). Infrared thermography for building diagnostics. *Energy and Buildings, 34(2),* 171–183. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00105-0.
5. Fokaides, P. A., & Kalogirou, S. A. (2011). Application of infrared thermography for the determination of the overall heat transfer coefficient (U-Value) in building envelopes. *Applied Energy, 88(12),* 4358–4365. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.05.042.
6. Lucchi, E. (2018). Applications of the infrared thermography in the energy audit of buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82,* 3077–3090. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.031.
7. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2023). *Energy strategy of Ukraine until 2050.* Retrieved May 1, 2025, from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-p#Text [in Ukrainian].
8. Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine. (2017). *National plan for reducing emissions from large combustion plants.* Retrieved May 1, 2025, from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/796-2017-p [in Ukrainian].

9. Verkhovna Rada of Ukraine. (2003). *Law of Ukraine "On Alternative Energy Sources" of February 20, 2003 No. 555-IV*. Retrieved May 1, 2025, from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15 [in Ukrainian]
10. DBN V.2.6-31:2021. (2022). *Thermal insulation and energy efficiency of buildings* [Valid from September 1, 2022]. Kyiv. [in Ukrainian].
11. DSTU EN ISO 6781-3:2022. (2022). *Performance of buildings. Detection of heat, air and moisture irregularities in buildings by infrared methods. Part 3: Qualification of equipment operators, data analysts and report authors (EN ISO 6781-3:2015, IDT; ISO 6781-3:2015, IDT)* [Valid from December 31, 2023]. Kyiv. [in Ukrainian].
12. Diachenko, O. S. (2024). Investments in solar energy in a decentralized power system as a factor of strengthening Ukraine's energy security during the war. *Renewable Energy, 2,* 73–78. https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.2(77)73-78 [in Ukrainian].
13. International Energy Agency. (2023). *Trends in Photovoltaic Applications 2023*. Retrieved May 1, 2025, from https://iea-pvps.org/trends_reports/trends-2023/
14. European Commission. (2021). *Sustainable and Smart Mobility Strategy*. Retrieved May 1, 2025, from https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/659455/EPRS_BRI(2021)659455_EN.pdf.
15. Kocsis, D., Judit, T. K., & Istvan, W. A. (2024). Evaluating battery electric vehicle usage in the EU: A comparative study based on member state energy mixes. *Heliyon, 10,* e30655. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30655.
16. Varshney, N. (2023). Transportation applications of solar energy: Innovations and consequences. *International Journal of Environmental Noise and Pollution Control, 1(2),* 39–44. https://journals.stmjournals.com/ijenpc.
17. DBN V.2.3-15:2007. (2022). *Car parks and garages for passenger cars (with amendment No. 1, No. 2 and No. 3)* [Valid from January 31, 2022]. Kyiv. [in Ukrainian].
18. VoltEnergy. (2025). *Solar power plants for business.* Retrieved May 1, 2025, from https://vseti220-24.com.ua [in Ukrainian].

Alla Yovchenko, PhD tech. sc.
Cherkassy State Technological University, Cherkassy, Ukraine

Integration of Solar Energy Systems into Motor Transport Enterprises to Ensure Energy Autonomy, Energy Efficiency and Environmental Friendliness

The need to increase energy efficiency and energy autonomy of motor transport enterprises in the conditions of the modern energy crisis caused by both armed aggression against Ukraine and global climate change is substantiated. The strategic importance of introducing renewable energy sources, in particular solar energy systems, to ensure the uninterrupted functioning of transport sector enterprises is highlighted. The design features of the use of solar canopies based on parking lots are analyzed, taking into account current building codes and requirements for the infrastructure of charging stations. It is established that the implementation of such solutions not only contributes to increasing energy sustainability, but also ensures a reduction in operating costs, an improvement in the environmental balance, and the adaptation of enterprises to modern challenges in the field of energy supply. The results obtained can be used in the development of motor transport enterprises modernization programs and the formation of regional strategies for the development of sustainable mobility. The prospects of using energy storage devices to increase the efficiency of photovoltaic systems during off-peak hours are noted. The feasibility of combining local RES solutions with digital energy monitoring and management systems to achieve maximum energy efficiency is emphasized.

By identifying and eliminating heat losses, automating energy consumption control, modernizing lighting and water supply systems, and using alternative heat sources (solid fuel boilers, solar collectors), enterprises can achieve sustainable and environmentally balanced operation. This approach not only reduces dependence on centralized energy sources, but also creates the basis for the development of innovative energy infrastructure in the face of modern challenges.

motor transport enterprise, energy autonomy, solar energy systems, energy efficiency, renewable energy sources

Одержано (Received) 07.05.2025 *Прорецензовано (Reviewed) 15.05.2025*
Прийнято до друку (Approved) 24.06.2025