

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СКЛАДСЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕХАНІЗМІВ КЕРУВАННЯ ПОПИТУ

Денисюк С. П., Коцар О. В., Опришко В. П.

1. Вступ

Проблема реалізації транзитного потенціалу України в системі міжнародних транспортно-комунікаційних зв'язків виходить за межі власних інтересів України у зв'язку з її тяжінням до географічного центру Європи [1, 2]. Така територіальна особливість України може визначити пріоритети розвитку країни у напрямі більш тісної інтеграції з країнами Європейського Союзу та іншими міжнародними інституціями [3].

Розвиток логістичних операцій суттєво впливає на розвиток економічної ситуації окремих регіонів та країн Європи. Україна, маючи найвищий транзитний рейтинг у Європі, потребує поетапної реалізації інституціональних перетворень у транспортному секторі економіки. Важливою проблемою є розміщення елементів транспортно-логістичної інфраструктури як об'єктів енерго- та ресурсозбереження при обслуговуванні вантажопотоку [4, 5].

Склади є одним з найважливіших елементів логістичних систем [6–9]. На всіх стадіях руху матеріальної продукції, починаючи від первинного джерела сировини і закінчуючи кінцевим споживачем, існує об'єктивна необхідність в спеціально облаштованих місцях для утримання запасів. Цим пояснюється наявність великої кількості різноманітних видів складів. Рух матеріальної продукції через склад збільшує вартість товару, що пов'язано з відповідними витратами. Тому необхідно вивчати проблеми і методи ефективної організації і функціонування складів для раціоналізації руху в логістичному ланцюзі та зниженні витрат.

Інвестиції в підвищення енергоефективності у такій важливій сфері послуг як логістика можуть привести до суттєвої економії енергії (наприклад, згідно Директиви 2012/27/EU наявний потенціал енергозбереження будівель складає 40 %) [10]. Зниження витрат енергії логістичними компаніями підвищує ефективність та розширює можливості міжнародної торгівлі (експортно/імпорتنих операцій), усуваючи при цьому міжнаціональні тарифні бар'єри та вплив низки інших негативних чинників.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є процеси підвищення енергоефективності в складських приміщеннях. Ефективні логістичні схеми часто не реалізуються через поєднання чинників і бар'єрів. До них можна віднести, наприклад, високі питомі витрати на такі складські операції як складування, сортування та перевезення тощо. З даними чинниками стикаються суб'єкти, що беруть участь у логістичних операціях, як, наприклад, співробітники, особи, які приймають рішення, аудитори, фінансові інституції та інші.

Склади можуть відрізнятися як за розмірами, конструктивними особливостями, рівнями механізації складських операцій, так і за функціональним призначенням та режимом зберігання товару.

Склад може бути ланкою в ланцюзі руху продукції виробничого призначення (склади сировини, готової продукції, спеціалізовані склади і т. д.), або знаходитися на ділянці руху товарів народного споживання (товарні склади). Склад є не просто приміщенням, де знаходяться різні вантажі [11, 12]. У нього є певна внутрішня структура, яка буває досить розвиненою. Склад складається з декількох зон, що розрізняються за призначенням і обладнанням, яке використовується. Виділяють наступні основні зони: навантаження і вивантаження, приймання, зберігання, сортування, експедиції, адміністративні та господарсько-побутові приміщення. Для зберігання і транспортування вантажів використовується різноманітне обладнання (застосовуються ручні пристрої, важкі та габаритні предмети переміщуються кранами і навантажувачами).

Підвищення енергоефективності у сфері послуг, у тому числі логістичних операцій, згідно Директив ЄС 2012/27/EU, 2012/27/EU передбачає обов'язковий енергоаудит як основи підвищення енергоефективності. Даний процес відповідає реалізації Європейської політики модернізації транспортних коридорів, створюючи широкі можливості для залучення інвесторів.

Знизити енергоспоживання при організації руху вантажопотоку можливо при логістичному підході до керування ланцюгами поставок [13]. Питання раціонального використання та розподілу ресурсів є одним з основних в логістиці. Стратегічна мета логістичного керування ланцюгами поставок – ресурсозбереження, мінімізація витрат на матеріали, паливо і енергію. Сучасним рішенням підвищення енергоефективності транспортно-логістичного комплексу при організації вантажоперевезень є обслуговування вантажопотоку в системі виробник – логістичний центр – споживач.

Одним із ключових питань при формуванні енергоефективної транспортно-логістичної інфраструктури стає вибір оптимального місця розміщення логістичного центру з точки зору логістичних витрат, прибутку і економічного енергоспоживання в процесі обслуговування вантажопотоку. Оптимальне місце розміщення логістичного центру сприятиме енерго- і ресурсозбереженню в транспортній галузі шляхом скорочення порожніх пробігів, витрат на паливо, підвищення ступеня використання вантажопідйомності і вантажомісткості транспортного засобу. Вдале розміщення, дозволить створити умови для застосування енергоефективних видів транспортних засобів, тим самим знижуючи енергоємність перевезення.

Більшість існуючих підходів оптимізації розміщення логістичних об'єктів дозволяють визначати оптимальне місце розміщення елементів транспортно-логістичної інфраструктури з урахуванням лише транспортних витрат. При таких підходах відсутня оцінка енергоефективності в цілому, а розглядаються лише такі фактори, як обсяг перевезень, відстань, вартість перевезення [14, 15]. До недоліків існуючих методів розміщення логістичних об'єктів можна віднести також:

- статичність даних – не враховуються можливі зміни чинників джерел споживання і постачання;

– обмеженість врахованих чинників – не розглядаються ринкові, соціально-економічні та інфраструктурні чинники [16–18]. Споживачі, як і власники складських приміщень, прагнуть зменшити власні затрати, виникає питання керування з точки зору витрат на споживання енергоресурсів та знаходження оптимального режиму функціонування.

Доцільною є розробка методології, яка в комплексі враховуватиме різні ринкові фактори, що впливають на ефективність транспортно-логістичної інфраструктури, динаміку зміни показників енергоефективності і можливість енерго- і ресурсозбереження. Така методологія має включати процеси впровадження та застосування систем керування попитом на електроенергію включно з моніторингом неоптимальності споживання.

3. Мета та задачі дослідження

Проведені дослідження ставили за мету визначити особливості процесів аналізу енергоефективності складських приміщень в сучасних ринкових умовах та розширення аналізу шляхом створення інструменту оцінки оптимальності споживання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Провести комплексний аналіз факторів енергоефективності складських приміщень як елементу транспортно-логістичної системи у відповідності до чинних норм та стандартів у сфері енергоефективності будівель у Європейському Союзі.
2. Оцінити нерівномірність графіків електроспоживання складських приміщень.
3. Дослідити зміни показника неактивної потужності Фризе як фактору неоптимальності та засобу зниження витрат.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Важливо враховувати такі фактори енергоефективності транспортно-логістичної інфраструктури:

- 1) соціально-економічні чинники (чисельність населення, середні доходи населення, валовий регіональний продукт, обсяг промислового виробництва, обсяг роздрібного товарообігу, обсяг імпорту та експорту, рівень забруднення);
- 2) інфраструктурні та географічні чинники (густота автомобільних доріг і залізничних колій, наявність транспортних коридорів на території регіону, кліматична зона);
- 3) показники транспортної роботи регіону (обсяги перевезень вантажів автомобільним та залізничним транспортом, обсяг транспортних послуг на душу населення).

Існують дві основні класифікації складських приміщень: Knight Frank і Swiss Realty Group [10, 19, 20]. Knight Frank класифікує приміщення від найкращого А+ до задовільного D, в свою чергу Swiss Realty Group класифікує від А1 до незадовільного D.

Загалом, щоб отримати максимальний рівень за будь-якою з існуючих класифікацій, було сформовано наступний ряд критеріїв відповідності:

1. Сучасна одноповерхова складська будівля з легких металоконструкцій і сендвіч-панелей, переважно прямокутної форми без колон або з кроком колон не менше 12 метрів, і з відстанню між прольотами не менше 24 м.

2. Високі стелі не менше 13 м, що дозволяють установку багаторівневого стелажного обладнання (6–7 ярусів).

3. Рівна бетонна підлога з антипиловим покриттям, з навантаженням не менше 5 т/м^2 , на рівні 1,20 м від землі.

4. Високе проектне навантаження на поверхню підлоги (від 4 т на 1 м^2), що дозволяє застосовувати важку вантажну техніку (висотні штабелери) і, як наслідок, максимально використовувати висоту стелажів.

5. Наявність системи пожежної сигналізації та автоматичної системи пожежогасіння.

6. Наявність системи вентиляції.

7. Система охоронної сигналізації та система відеоспостереження.

8. Автономна електростанція та тепловий вузол.

9. Наявність достатньої кількості автоматичних воріт докового типу (dock shelters) з вантажно-розвантажувальними майданчиками регульованої висоти (dock levelers) (не менше 1 на 500 м^2).

10. Наявність майданчиків для відстою великовантажних автомобілів і паркування легкових автомобілів.

11. Наявність майданчиків для маневрування великовантажних автомобілів.

12. Наявність офісних приміщень при складі.

13. Наявність допоміжних приміщень при складі (туалети, душові, підсобні приміщення, роздягальні для персоналу).

14. Наявність системи обліку та контролю доступу співробітників.

15. Оптико-волоконні телекомунікації.

16. Огороджена і цілодобово охороняється, освітлена впорядкована територія.

17. Розташування поблизу центральних магістралей.

18. Професійна система керування.

19. Досвідчений девелопер.

20. Залізнична гілка.

Важливою складовою при формуванні енергоефективної транспортно-логістичної інфраструктури є показники енергоефективності. Проте вони не можуть прогнозувати зміни в загальному енергоспоживанні або дати кількісну оцінку впливу окремих складових або факторів на загальне енергоспоживання. Тому часто необхідно здійснити більш детальний аналіз, щоб зрозуміти сукупний вплив ряду різних факторів або рушійних сил на загальне енергоспоживання [21].

Варто звернути увагу на доцільність застосування «Методики економічної оцінки енергетичних системах в будівлях», представленої в стандарті EN 15459:2007 [22]. При наявності механізмів автоматизації і керування будівлі відповідно до стандарту EN 15232:2007 [23], ефективність використання тригенерації [24] для різних зон складських приміщень очевидна. Це призводить до виникнення питання щодо керування попитом на електроенергію.

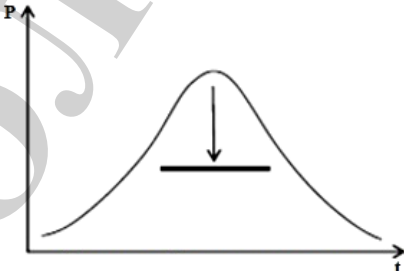
Керування попитом (DSM) – це набір методів і стратегій, які діють, щоб вирівняти добовий графік енергоспоживання. DSM дозволяє контролювати споживачів в контексті ефективного управління системою [25]. При формуванні енергоефективної транспортно-логістичної інфраструктури DSM програми можуть бути представлені не лише алгоритмами дій нормативно-правового характеру при регулюванні рівнів навантаження. Одним зі способів їх застосування є безпосереднє керування навантаженнями на рівні технологічних процесів [26]. Це визначає необхідність точного регулювання енергопроцесів в мережі з врахуванням вимог до якості електроенергії, надійності та стабільності електропостачання [27]. В результаті виникає необхідність в оцінці ефективності роботи системи та врахуванні відповідних чинників, що впливають на якість електричної енергії, а саме: спотворення сигналу, пульсації струму на напруги тощо. Для отримання бажаного рівня ефективності передачі та споживання електричної енергії та зменшення втрат необхідно виявити чинники, які безпосередньо впливають та процеси, якими ці чинники можна ідентифікувати.

5. Методи досліджень

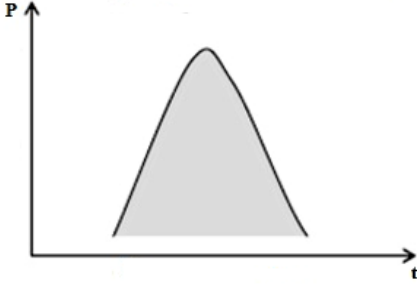
Аналіз показав: сучасні DSM ґрунтуються на інтегральному підході до їх реалізації та охоплюють організаційні та технічні заходи для вирішення поставлених завдань, в тому числі з використанням розосередженої генерації (РГ). Основний інструментарій оптимізації графіків споживання миттєвої потужності P за деякий інтервал часу t за рахунок програм DSM представлено у табл. 1. При аналізі процесу оптимізації має бути врахована нерівномірність, що обумовлена впливом різних факторів, що залежать не лише від споживача і генератора, а й від системи електропостачання в цілому.

Таблиця 1

Основний інструментарій оптимізації графіків споживання

№ програми	Загальний вигляд графіку споживання електричної потужності $P(t)$ та напрям його оптимізації	Назва програми DSM	Опис програм та їх загальна характеристика.
1	2	3	4
1		Зменшення пікового навантаження	Програми спрямовані на вирівнювання графіку споживання шляхом безпосереднього контролю навантаження, відключення обладнання споживачів або введення РГ

1	2	3	4
2		Заповнення провалів	Програми, які заохочують позапікове споживання. Вони спрямовані на збільшення власного споживання в зонах загального спаду споживання енергосистеми. Стимулювання споживачів зазвичай здійснюється значно нижчими тарифами
3		Стратегії енергозбереження	Програми для сезонного зниження споживання енергії, головним чином, за рахунок ефективного споживання енергії та зменшення втрат
4		Побудова навантаження	Програми для управління сезонним збільшенням споживання енергії. В їх основу покладено введення інтелектуальних системи та процесів, більш ефективного обладнання і сучасних джерел енергії для досягнення більшого рівня енергетичної ефективності
5		Перенесення навантаження	Програми з переміщення навантаження з періоду найбільшого споживання в період низького споживання, не змінюючи загальне споживання. Це також можливо з включенням РГ

1	2	3	4
6		Гнучке моделювання	Набір дій і комплексне планування між генеруючими компаніями і споживачами, з урахуванням потреб в даний момент часу. Це партнерство з метою створення моделі обмеження потужності та об'ємів енергоспоживання, що індивідуальний споживач може використовувати в певний час, через установку пристроїв обмеження навантаження

Аналіз особливостей складських приміщень та складських операцій дозволяє сформулювати їх модель з точки зору вирішення наступних задач:

- 1) оптимізація режимів енергоспоживання (у першу чергу, електроспоживання);
- 2) адекватна оцінка витрат енергії (електроенергії) на зберігання та переробку конкретної партії товару;
- 3) мінімізація складських витрат на зберігання та переробку товарів.

Модель складу як елемент навантаження мережі електропостачання характеризується ознаками:

- рівень навантаження змінюється (може задаватися) детермінованим чином;
- наявність плавних та різко змінних навантажень;
- врахування змінної функції вартості ціни за електроенергію протягом доби;
- вплив окремих операцій (технологічних) на складову вартості може бути чітко розмежований з виділенням факторів впливу.

Для розширення можливостей керування попитом на електричну енергію необхідно створити інструмент моніторингу та оцінки оптимальності споживання та якості електроенергії.

6. Результати досліджень

Модель такого споживання може бути представлена RL -навантаженням із змінними у часі $R(t)$ та $L(t)$. Для детального аналізу впливу, здійснимо кусочно-лінійну апроксимацію. На інтервалі часу $T_{розр}$ можна виділити інтервал $T_{R,i} \in [0, T_{розр}]$ та $T_{L,j} \in [0, T_{розр}]$, коли для RL -моделі можливо записати $R_i = const$, $i=1, n_R$; $L_j = const$, $j=1, n_L$. Співставивши інтервали $T_{R,i}$, $T_{L,j}$ – можна отримати множину інтервалів $T_{C,K}$, коли $L_K = const$, $R_K = const$, $K=1, n_C$, $\sum_{K=1}^n T_{C,K} = T_{розр}$. Для k -го інтервалу:

$$Z_K = \sqrt{R_K^2 + \omega_1^2 L_K^2}. \quad (1)$$

Оскільки для тривалості перехідних процесів $t_{K,пер}$ зміна параметрів R_K та L_K має місце $t_{K,пер} \ll t_K$, то для подальшого моделювання перехідних процесів їх впливом можна знехтувати.

Керуючи власним споживанням електричної енергії, виникає необхідність оцінки її якості. Оцінка якості електроенергії повинна спиратись на фізично зрозумілих і явних величинах, очевидно, що в спотворюючих системах реактивна потужність та реактивна енергія такими не являються. Однією з величин, придатних для оцінки характеру споживання електроенергії, є втрати потужності, що виникають в мережі при її передачі до споживача.

Мірою такої оцінки, запропоновано відношення найменшого можливого значення втрат напруги, пропорційного до квадрату діючих значень струму [28]. Поточне значення коефіцієнта потужності виражається, як:

$$\lambda = \sqrt{\frac{\Delta P_{\min}}{\Delta P}} = \sqrt{\frac{3I^2}{\Sigma I^2}}. \quad (2)$$

За умови припущення, що система напруг симетрична, врівноважена та синусоїдальна, можемо записати усереднений за інтервал часу коефіцієнт потужності λ_T у вигляді:

$$\lambda_T = \frac{A_p}{\sqrt{A(u^2)}} \frac{1}{\sqrt{A(I^2)}}. \quad (3)$$

Вираз для λ_T дійсний для будь-якої напруги мережі. Тому λ_T є показником, що залежить лише від самого споживача і враховує несприятливий вплив нерівномірності споживання.

При оцінці поточного рівня електроспоживання вираз для неактивної потужності Фризе $Q_\phi^2 = S^2 - P^2$ є фактично квадратичною мірою нев'язки між повною S та активною потужністю P . Навіть при відсутності реактивних елементів, на інтервалі регулювання T_T матиме місце співвідношення $Q_\phi > 0$ при нерівномірності протікання процесів.

Загальна форма запису неактивної потужності:

$$Q_\phi = \sqrt{U^2 I^2 - P^2}. \quad (4)$$

Застосування Q_ϕ для оцінки нерівномірності процесів покажемо на прикладі режиму, що характеризується, діючими значеннями напруги U_i та струму I_i , $i=1, \dots, n$, T_i – тривалість i -го інтервалу, та $P=U_0 I_0$, де U_0 , I_0 – усереднені зна-

чення напруги та струму. При умові $\cos\varphi=1$ для інтервалу $T_m > T_T$, де T_T – період електромережі, можна записати вираз для потужності Фризе Q_ϕ у вигляді:

$$Q_\phi = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n U_i^2 \frac{T_i}{T}\right) \left(\sum_{j=1}^n I_j^2 \frac{T_j}{T}\right) - U_0^2 I_0^2}. \quad (5)$$

Якщо ввести позначення $\delta_i = T_i/T$; $\sum_{i=1}^n \delta_i = 1$, то величина Q_ϕ визначається із співвідношення:

$$Q_\phi = \sqrt{\sum_{i=1}^n U_i^2 \delta_i \cdot \sum_{i=1}^n I_i^2 \delta_i - \left(\sum_{i=1}^n U_i I_i \delta_i\right)^2}. \quad (6)$$

Величина Q_ϕ/P характеризує ефективність регулювання режиму електроспоживання та визначає рівень неоптимальності передачі енергії з точки зору усунення її втрат.

Величина Q_ϕ відіграє важливу роль в процесах:

- розрахунку втрат;
- взаєморозрахунки зі споживачами;
- керування генерацією;
- регулювання режимів мережі;
- керування накопичувачами (акумуляторами) електричної енергії.

При оцінці поточного рівня електроспоживання вираз для неактивної потужності Фризе Q_ϕ^2 є фактично квадратичною мірою нев'язки між повною S та активною потужністю P . Навіть при відсутності реактивних елементів, на інтервалі регулювання t_m матиме місце співвідношення $Q_\phi > 0$ при нерівномірності протікання процесів. Застосування Q_ϕ для оцінки нерівномірності процесів покажемо на прикладі режиму, що характеризується, діючими значеннями напруги U_i та струму I_i , $i = 1, \dots, n$, T_i – тривалість i -го інтервалу, та $P = U_0 I_0$, де U_0, I_0 – відповідні значення напруги та струму.

Для поширення характеристики на весь інтервал технологічного процесу необхідно розписати та підставити значення для напруги та струму для двох інтервалів. Відповідно, введемо позначення $\delta_i = t_i / \sum t_i$, $k_{ij} = I_j / I_1$ для розгляду процесу на великому інтервалі $T = \sum t_i$, $k_{uj} = U_j / U_1$ та отримаємо:

$$U_0 = \frac{U_1 t_u + U_2 (T - t_u)}{T} = U_1 \delta_u + U_1 (1 - \delta_u), \quad (7)$$

$$I_0 = \frac{I_1 t_i + I_2 (T - t_i)}{T} = I_1 \delta_i + I_1 (1 - \delta_i). \quad (8)$$

Підставивши отриманні рівняння у загальну формулу, отримаємо співвідношення:

$$P = U_0 I_0 = (U_1 \delta_u + U_2 (1 - \delta_u))(I_1 \delta_i + I_2 (1 - \delta_i)), \quad (9)$$

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} (U_1^2 t_u + U_2^2 (T - t_u))} = \sqrt{U_1^2 \delta_u + U_2^2 (1 - \delta_u)}. \quad (10)$$

Припустимо, що значення напруги U_1 та струму I_1 на першому інтервалі відрізняються від значень напруги U_2 та струму I_2 на другому інтервалі на деякі коефіцієнти відхилення k_u, k_i . Відповідно значення напруги та струму на другому інтервалі приймають вигляд $U_2 = k_u U_1$ та $I_2 = k_i I_1$.

Формули для активної потужності P та потужності Q_ϕ можна представити у вигляді:

$$P = \sum_{i=1}^n U_i I_i \delta_i, \quad (11)$$

$$P = U_1 I_1 \left(\delta_i + \sum_{j=2}^n k_{ij} k_{u,j} \right), \quad (12)$$

$$Q_\phi^2 = [U_1^2 \delta_u + U_2^2 (1 - \delta_u)] \cdot [I_1^2 \delta_i + I_2^2 (1 - \delta_i)] - ([U_1 \delta_u + U_2 (1 - \delta_u)] \cdot [I_1 \delta_i + I_2 (1 - \delta_i)])^2, \quad (13)$$

$$Q_\phi^2 = U_1^2 I_1^2 (\delta_u + k_u^2 (1 - \delta_u)) \cdot (\delta_i + k_i^2 (1 - \delta_i)) - ((\delta_u + k_u (1 - \delta_u)) \cdot (\delta_i + k_i (1 - \delta_i))). \quad (14)$$

Прийнявши за базовий рівень значення струму і напруги U_1, I_1 , отримаємо:

$$Q_\phi^2 = -U_1^2 I_1^2 \left[\left(\delta_1 + \sum_{j=2}^n \delta_j k_{ij} k_{u,j} \right) + \left(\delta_1 + \sum_{j=2}^n \delta_j k_{ij}^2 \right) \cdot \left(\delta_1 + \sum_{j=2}^n \delta_j k_{u,j}^2 \right) \right], \quad (15)$$

$$S^2 = U_1^2 \left(\delta_1 + \sum_{j=2}^n \delta_j k_{ij} \right) I_1^2 \left(\delta_1 + \sum_{j=2}^n \delta_j k_{u,j} \right). \quad (16)$$

За умови пропорційного збільшення напруги та струму $k_{U1}=k_{I1}=1$ для інтервалу $t_m > t_c$, де t_m – період електромережі, можна записати вираз для потужності Фризе Q_ϕ у вигляді:

$$S^2 = \left(\sum_{i=1}^n U_1^2 \delta_i \right) \cdot \left(\sum_{j=1}^n I_j^2 \delta_j \right), \quad (17)$$

$$Q_\phi^2 = U_{11}^2 \left[\left(\sum_{j=1}^n \delta_j k_{ij}^2 \right) \cdot \left(\sum_{j=1}^n \delta_j k_{u,j}^2 \right) - \left(\sum_{j=1}^n \delta_j k_{ij} k_{u,j} \right) \right]. \quad (18)$$

Припустивши, що в деякому режимі величини в рівнянні (10) приймають відповідні значення:

$$U_1=1000 \text{ В}, I_1=100 \text{ А}, \delta_i, \delta_u \in \{0,2;0,8\}, k_u, k \in \{0,8;1,2\},$$

отримаємо графік, що вказує на наявність залежності значення величини Q_ϕ та характеру зміни величини при фіксованих значеннях $\delta_u = \delta_i$ (рис. 1).

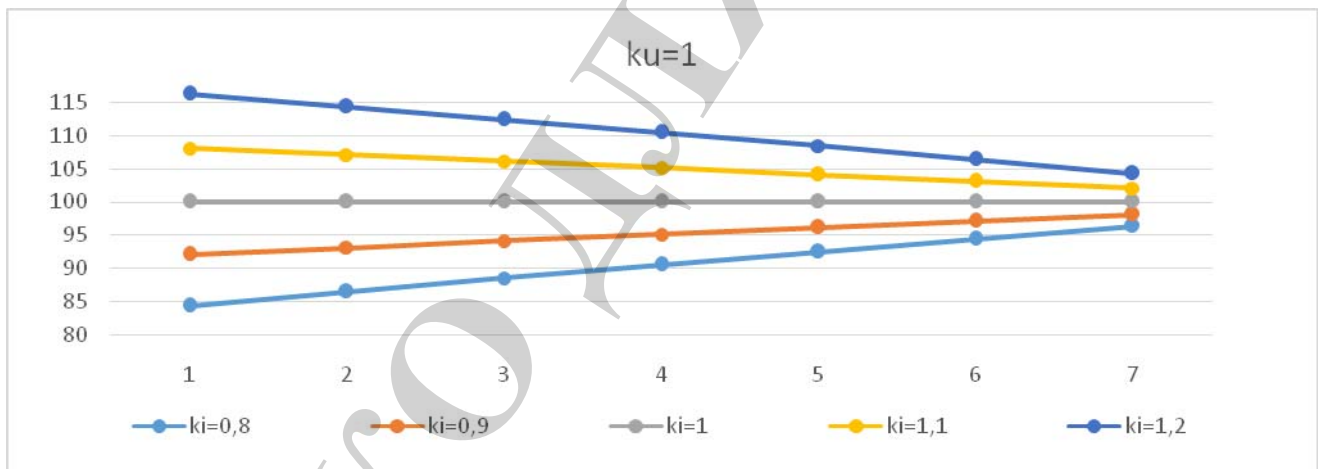


Рис. 1. Зміна показника Q_ϕ при $k_u=1$

Характерними є 3 випадки для режиму споживання, коли відхилення струму та напруги не можуть перевищувати встановленого рівня 10 %:

1. Зафіксувавши значення коефіцієнта відхилення струму k_i на рівні $k_i=1,1$, графік (рис. 2) ілюструє характер споживання при якому споживаний струм вище базового рівня, а напруги коливається в допустимому діапазоні. Зміна показника потужності Фризе спадає зі збільшенням часового коефіцієнту δ , проте, при наближенні падіння напруги до допустимого значення $k_u=0,9$, спостерігається зміна форми графіку і показник Q_ϕ починає зростати (рис. 2).

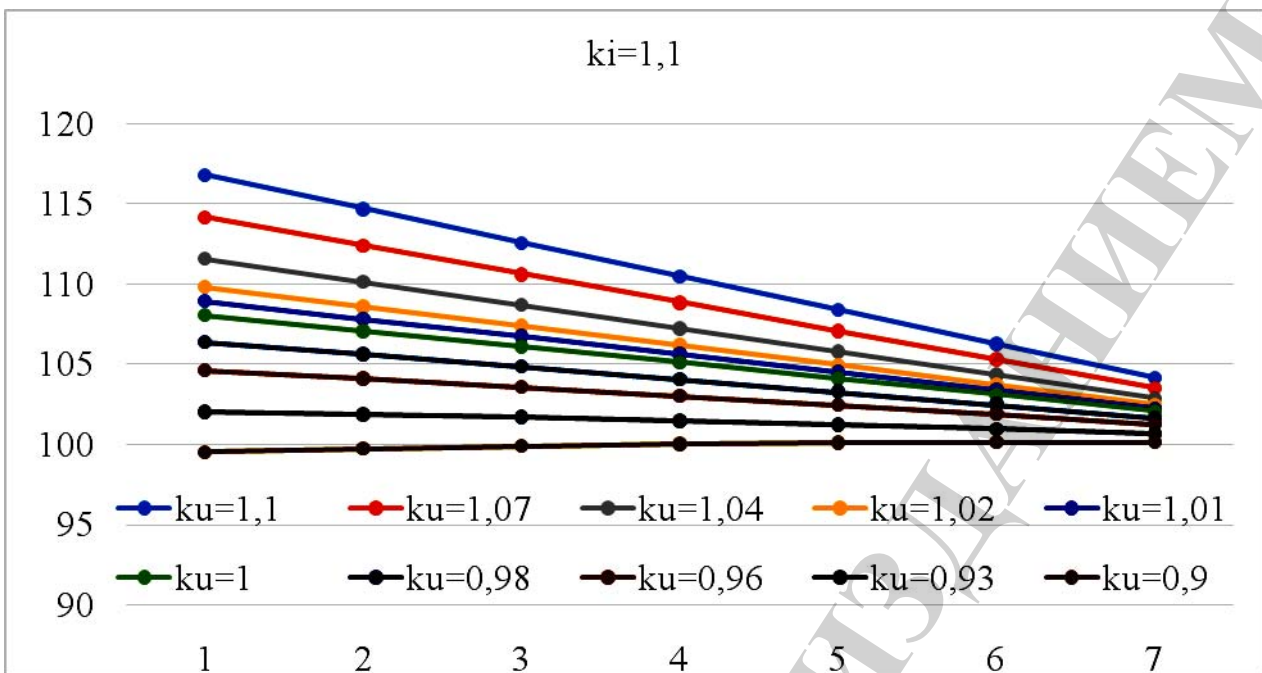


Рис. 2. Зміна показника Q_ϕ при $k_i=1,1$

2. Аналогічно зафіксувавши значення відхилення струму k_i на рівні $k_i=0,9$, отримали групу графіків, де показник Q_ϕ зростає, і також характерним є наближення до допустимого значення $k_u=1,1$, коли показник починає спадати (рис. 3).

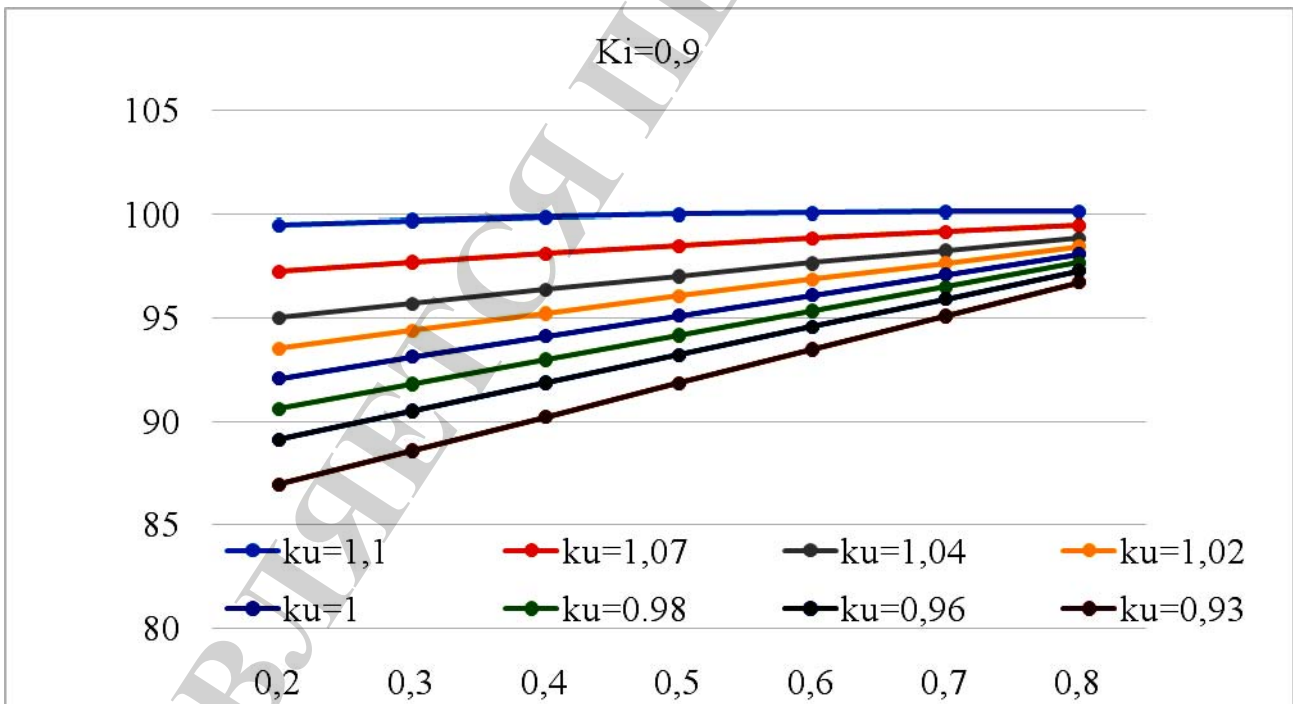


Рис. 3. Зміна показника Q_ϕ при $k_i=0,9$

3. За умови $k_i=k_u$, зміна значення Q_ϕ відбувається з найменшими коливаннями, що загалом характеризує ступінь відхилення від оптимального режиму споживання та недотримання базового (рівномірного) режиму споживання. На рівномірність впливають як зміни показника тривалості, так і амплітуд діючих значень.

Дані результати ілюструють необхідність створення чітких законів керування при впровадженні програм DSM для об'єктів електроспоживання, в тому числі і складських приміщень.

7. SWOT-аналіз результатів дослідження

Strengths. Аналіз особливостей формування енергоефективної транспортно-логістичної інфраструктури дозволив виділити процес підвищення рівня енергоефективності складських приміщень як одне із основних завдань модернізації транспортно-логістичної галузі. За результатами досліджень встановлено, що склади, які є одним з найважливіших компонентів логістичних систем, являють собою складні підсистеми, функціонування яких визначає ефективність, зокрема енергетичну, логістичних ланцюгів в цілому.

Варто виділити наступні сильні сторони:

- збільшення споживання в транспортно-логістичному секторі;
- впровадження економічних заходів, спрямованих на стимулювання зниження витрат електроенергії;
- зниження технологічних витрат;
- використання сучасних систем для контролю за споживанням електроенергії;
- зменшення пікових навантажень в об'єднаній енергетичній системі (ОЕС) України;
- вигідне географічне розташування.

Weaknesses. Світова практика вказує на успішність проектів з керування попитом та їх позитивний вплив на загальний графік споживання, що особливо важливо в сучасних умовах України. Проте слабкими сторонами є:

- незначна кількість регулюючих потужностей;
- слабка законодавча база та система державної підтримки;
- відсутність конкуренції між генеруючими компаніями;
- некомпенсованість електромережі ОЕС України за реактивною потужністю та забезпеченням необхідного рівня напруги;
- низький рівень приладів обліку у споживачів електричної енергії;
- низька культура споживання електричної енергії;
- відсутність достатніх економічних стимулів у споживача для керування попитом на електричну енергію;
- значна зношеність мережевого обладнання;
- зменшення пропускної спроможності ліній електропередач.

Opportunities. Вирішення питання підвищення енергоефективності на тлі балансуєчого ринку енергії в умовах лібералізованого ринку вимагає вирішення не лише питань керування процесами технологічного плану, а й організаційно-методичних. Підприємства транспортно-логістичної галузі зацікавлені в ритмічному завантаженні власних потужностей у відповідності до етапів та інтервалів зберігання, аналізі витрат на супутні ресурси, що залежать й від вартості електричної енергії. Також до можливостей варто віднести:

- модернізації існуючих потужностей та розвиток нових;
- залучення споживачів до регулювання потужністю в енергосистемі;
- можливість зменшення питомих витрат палива та відпуск електроенергії;
- розвиток відновлювальних джерел енергії;
- створення системи оцінювання методів управління електроспоживанням.

Threats. До загроз варто віднести наступне:

- відсутність сприятливих умов для залучення інвестицій;
- збільшення інфляції в Україні;
- низька платоспроможність споживачів електричної енергії;
- нераціональна регіональна політика;
- міграція населення;
- низький рівень зацікавленості у впровадженні методів управління електроспоживанням.

8. Висновки

1. Комплексний аналіз факторів енергоефективності показав важливість звернення уваги на підвищення рівня енергоефективності складських приміщень як одного з вагомих резервів зниження витрат у логістичному ланцюзі. Сформовано критерії відповідності європейським класифікаціям складських приміщень. Показано, що формування енергоефективної транспортно-логістичної інфраструктури дозволить:

- впровадити енергозберігаючі технології за рахунок управління ланцюгами поставок на основі концепції «зеленої логістики» і застосування залізничного транспорту;
- вирішити проблему взаємодії різних видів транспорту і підвищити якість комплексного обслуговування вантажопотоків;
- знизити собівартість перевезень вантажів за рахунок зниження енергоспоживання;
- зменшити забруднення навколишнього середовища в результаті зменшення обсягу транспортної роботи, що припадає на одиницю перевезеного вантажу.

2. Проведено оцінку нерівномірності графіків електроспоживання складських приміщень як специфічного виду навантаження за допомогою модифікації показника Q_{ϕ} . Отримані характеристики для модифікованого показника Q_{ϕ} вказують на можливість оптимізації споживання, при керуванні режимом електро-споживання.

3. Показана доцільність реалізації програм DSM для складських приміщень. Запропонована методика оцінки характеру споживання електроенергії та її якості, що дозволяє виділити фактори, що відносяться до споживача і вимагають вирішення шляхом аналізу режиму споживання електричної енергії.

Література

1. Davtyan, Y. V. The Theoretical Foundations of the International Transport Corridors and their Role in the Economy of Ukraine [Text] / Y. V. Davtyan // Business Inform. – 2012. – № 12. – P. 151–155.

2. Cherniavskiy, Yu. I. Ekologichni aspekty rozvytku mizhnarodnoho transportnoho korydoru Yevropa-Aziia [Text] / Yu. I. Cherniavskiy // *Ekonomika pryrodokorystuvannia i okhorony dovkillia*. – 2013. – P. 227–234.
3. Stechenko, D. M. Rozmishchennia produktyvnykh syl i rehionalistyka [Text]: Handbook / D. M. Stechenko. – Kyiv, 2006. – 396 p.
4. Kopylova, O. A. Metodika formirovaniia energoeffektivnoi transportno-logisticheskoi infrastruktury [Text] / O. A. Kopylova, A. N. Rahmangulov // *Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii*. – 2012. – № 2. – P. 45–53.
5. Rakhmanhulov, A. N. Vybir mists dlia lohistrychnykh potuzhnosti [Text] / A. N. Rakhmanhulov, O. A. Kopylova, Ye. K. Autiv // *Svit transportu*. – 2012. – № 2. – P. 19–22.
6. Razvitie logisticheskikh tsentrov [Electronic resource] // Central Asia Regional Economic Cooperation (CAREC). – 2013. – Available at: \www/URL: http://www.carecprogram.org/uploads/events/2013/CFCFA-training-KGZ/009_103_209_logistics-center-development-ru.pdf
7. Klassifikatsiia skladskih pomeshchenii [Electronic resource] // Commercial Property. – Available at: \www/URL: <http://commercialproperty.ua/references/warehouse.php>
8. Profesiini rishennia dlia skladskoi lohistryky [Electronic resource] // «IMVO» COMPANY. – Available at: \www/URL: http://www.imvo.lviv.ua/uploads/files/IMVO_presentation_ukr.pdf. – 12.12.2016.
9. Evteev, S. Aiti – logistika i sklad: kompleksnye resheniia dlia avtomatizatsii logistiki [Electronic resource] / S. Evteev // IT. – Available at: \www/URL: <http://www.it.ru/itrfid/effect.pdf>
10. Knight Frank [Electronic resource]. – Available at: \www/URL: <http://www.knightfrank.ru/>
11. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 [Electronic resource] // Official Journal of the European Union. – 2012. – L 315/1. – Available at: \www/URL: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:en:PDF>
12. Sostoianie, tranzitnyi potentsial, problemy i perspektivy razvitiia Sistyemy mezhdunarodnyh transportnyh koridorov (MTK) Rossii na primere dostavki i tamozhennogo oformleniia mezhdunarodnyh ekspres-gruzov [Electronic resource]. – Riga, June 2014. – Available at: \www/URL: http://www.rmsforum.lv/admuploads/file/3_shljapnikov_transbaltica_2014.pdf
13. Karpenko, O. A. Doslidzhennia perevah lohistrychnoho pidkhotu pry orhanizatsii system materialno-tekhnichnoho zabezpechennia pidpriemstv [Text] / O. A. Karpenko, S. O. Kovalchuk, Ye. O. Yefimova // *Upravlinnia proektamy, systemnyi analiz i lohistyka. Tekhnichna seriia*. – 2012. – Vol. 9. – P. 82–85.
14. Nikolaichuk, V. Vzaimosviaz' i razlichiiia logistiki i marketinga [Electronic resource] / V. Nikolaichuk // *Economy of Ukraine*. – 1999. – № 4. – Available at: \www/URL: <http://masters.donntu.org/2003/fem/gavrischuk/library/index1.htm>
15. Krykavskiy, Ye. Ekonomichniyi potentsial lohistrychyykh system [Text] / Ye. Krykavskiy. – Lviv: DU «Lvivska politekhnik», 1997. – 168 p.

16. Oklander, M. A. Kontury ekonomichnoi lohistyky [Text]: Monograph / M. A. Oklander. – Kyiv: Naukova dumka, 2000. – 174 p.
17. Sergeev, V. I. Logistika v biznese [Text]: Handbook / V. I. Sergeev. – Moscow: INFRA-M, 2001. – 608 p.
18. Harrison, A. Logistics Management and Strategy [Text] / A. Harrison, R. Van Hoek. – Ed. 2. – Financial Times/Prentice Hall, 2004. – 336 p.
19. Classification warehouse [Electronic resource] // Bachfest Leipzig. – April 11, 2014. – Available at: \www/URL: <http://bachfest-leipzig.com/classification-warehouse/>
20. SwissReal Group [Electronic resource]. – Available at: \www/URL: <http://swissreal.com/>
21. Goswami, D. Y. Energy Efficiency and Renewable Energy [Text]: Handbook / D. Y. Goswami, F. Kreith. – Ed. 2. – CRC Press, 2015. – 1846 p.
22. Energy Efficiency Indicators: Fundamentals on Statistics [Text]. – Paris: OECD/IEA, 2014. – 388 p.
23. Ożadowicz, A. Energy saving in the street lighting control system – a new approach based on the EN-15232 standard [Text] / A. Ożadowicz, J. Grela // Energy Efficiency. – 2016. – P. 1–14. doi:10.1007/s12053-016-9476-1
24. Hernández-Santoyo, J. Trigeneration: an alternative for energy savings [Text] / J. Hernández-Santoyo, A. Sánchez-Cifuentes // Applied Energy. – 2003. – Vol. 76, № 1–3. – P. 219–227. doi:10.1016/s0306-2619(03)00061-8
25. Ghicajanu, M. Programs of Energy Efficiency – Demand Side Management (DSM) [Electronic resource] / M. Ghicajanu // International conference on economics, law and management. – 2008. – Available at: \www/URL: <http://www.upm.ro/proiecte/EEE/Conferences/papers/S335.pdf>
26. Opryshko, V. Osoblyvosti intehratsii osnovnykh prohram i metodiv z keruvannia popytom spozhyvannia elektroenerhii [Text] / V. Opryshko // III Mizhnarodna naukovo-tekhnichna ta navchalno-metodychna konferentsiia «Enerhetychnyi menedzhment: stan ta perspektyvy rozvytku – PEMS16». – 2016. – P. 88–89.
27. Stognii, B. S. The evolution of intelligent electrical networks and their prospects in Ukraine [Text] / B. S. Stognii, O. V. Kyrylenko, O. V. Prahovnyk, S. P. Denysiuk // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2012. – № 5. – P. 52–67.
28. Drehsler, R. Izmerenie i otsenka kachestva elektroenergii pri nesimmetrichnoi i nelineinoi nagruzke [Text] / R. Drehsler; Translation from Czech: A. A. Okin. – Moscow: Energoatomizdat, 1985. – 113 p.