

DOI: 10.32347/2076-815x.2026.91.471-482

УДК 69.003.69:004.94:620.9:621.311.1

к.т.н. **Перегінець І.І.**,

ivan.pereginets@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3812-6509,

Директор НТЦ Академії будівництва України, м. Київ,

**Смірнов Ю.О.**,

yuriy.smyrnov@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1063-693X,

НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро

## **ОСНОВИ БУДІВЕЛЬНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ОБ'ЄКТІВ ПРИ СИСТЕМНІЙ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**

*Розглянуто організаційно-технологічні основи оптимізації електроспоживання в сучасних будівлях на основі інтеграції методів інформаційного моделювання та алгоритмів керування енергетичними процесами. Обґрунтовано, що зростання частки електрифікованих інженерних систем у житлових і громадських об'єктах потребує переходу від традиційного підходу до проектування електричних мереж, орієнтованого на статичні розрахунки, до динамічного керування режимами навантаження в реальному часі. BIM-технології забезпечують можливість створення цифрової моделі будівлі, яка містить точні параметри електроспоживачів, мережевих елементів та джерел живлення, що формує основу для математичного прогнозування енергетичних процесів і підвищення їх керованості.*

*Запропонована модель включає побудову BIM-бібліотеки енергетичних компонентів, використання потокової організації робіт із точним контролем інженерних операцій, формування математичної моделі електроспоживання та розробку алгоритму оптимізації, що поєднує роботу навантаження, сонячної генерації, систем накопичення та мережевого живлення. Окрему увагу приділено визначенню індексу енергостабільності, який дозволяє оцінювати відтворюваність енергетичних параметрів будівлі у процесі її експлуатації.*

*Показано, що поєднання інформаційного моделювання, часової аналітики та алгоритмів балансування електричних навантажень дозволяє зменшити пікові споживання, підвищити ефективність роботи інженерних систем, знизити втрати та забезпечити більш точний контроль критичних режимів. Практичне значення роботи полягає у можливості застосування запропонованої моделі у проектуванні, будівництві та експлуатації об'єктів нового покоління, де енергетична керованість і цифровий моніторинг стають ключовими вимогами сучасної будівельної індустрії.*

*Ключові слова: BIM-моделювання; енергоспоживання; оптимізація електропостачання; баланс потужності; енергетична стабільність; цифрова модель будівлі; системи накопичення енергії; сонячна генерація; електротехнічні режими; організаційно-технологічні процеси.*

**1. Вступ.** Сучасні будівлі дедалі більше перетворюються на складні електротехнічні системи, у яких взаємодіють десятки різнорідних навантажень: опалювальні прилади, системи кондиціонування та вентиляції, насоси, освітлювальні прилади, побутові електроспоживачі, зарядні станції, обладнання зв'язку та автоматики. Зростання частки електрифікованих інженерних систем призводить до суттєвого підвищення навантаження на внутрішні мережі будівель та локальну енергосистему. У таких умовах питання оптимізації електроспоживання, підвищення керованості енергетичних процесів та забезпечення стабільності роботи електричних систем стають ключовими як для ефективності будівлі, так і для її безпечної експлуатації.

Разом із цим будівельна галузь входить у фазу активної цифровізації, де BIM-моделювання (Building Information Modeling) розглядається як базова технологія керування життєвим циклом об'єкта. На відміну від традиційних підходів, BIM дає змогу створити комплексну цифрову модель будівлі з точними характеристиками кожного елемента, включно з інженерними мережами та електроспоживачами. Це дозволяє не лише підвищити якість проектування, але й отримати можливість точного аналізу режимів роботи електросистеми ще до початку будівництва, а далі через механізми цифрових двійників здійснювати постійне відстеження та оптимізацію навантажень.

Традиційна практика побудови електричних мереж орієнтується переважно на розрахункові пікові навантаження, що не враховують реальної мінливості режимів споживання. Унаслідок цього виникають такі проблеми, як надмірний запас потужності, неефективне використання обладнання, зростання втрат, локальні перевантаження та відсутність можливості гнучкого перерозподілу енергії. З появою нових джерел генерації - побутових сонячних електростанцій, систем накопичення енергії та електромобільних зарядних пристроїв, електричні мережі будівель стають ще більш динамічними, а питання їх балансування й оптимізаційного керування набувають критичного значення.

Сучасні підходи до оптимізації електроспоживання базуються на використанні методів прогнозування навантаження, алгоритмів управління попитом (Demand Response), канонів peak shaving, технологій розумного перемикання джерел живлення, застосуванні систем накопичення енергії та цифровому аналізу даних. Усе це формує новий технічний комплекс, який

можна визначити як енергетичну інфраструктуру будівлі, що самонавчається, тобто таку, що здатна адаптуватись до зміни умов та працювати за оптимальними режимами.

Однак ефективне використання таких технологій неможливе без створення єдиної моделі, яка б описувала не лише архітектурні й конструктивні елементи будівлі, але й увесь комплекс електричних навантажень, характеристик обладнання, часових профілів споживання та параметрів джерел живлення. Саме ці можливості забезпечує BIM, який стає основою для подальшої математичної оптимізації режимів роботи електричних систем.

Таким чином, виникає потреба в новій організаційно-технологічній моделі, яка поєднує методи інформаційного моделювання будівель із сучасними інструментами керування електроспоживанням. Така модель дозволяє перейти від реактивного управління експлуатацією будівлі до проактивного, заснованого на прогнозах обчисленнях, цифрових сценаріях та автоматизованому контролі критичних параметрів.

У контексті післявоєнної відбудови України та тенденцій до електрифікації інженерних систем саме оптимізація електроспоживання набуває визначального значення для формування стійких, економічно ефективних і технологічно керованих будівель. Розроблення цифрових алгоритмів, математичних моделей та організаційних рішень у цій сфері стає одним із ключових напрямів розвитку сучасної будівельної науки.

**2. Огляд існуючих досліджень.** Аналіз сучасних досліджень свідчить про зростаючу увагу до проблем оптимізації електроспоживання будівель, інтеграції відновлюваних джерел енергії та підвищення стабільності електротехнічних систем. У роботі [1] показано, що балансування виробництва та споживання електроенергії у малих системах значною мірою залежить від точності прогнозування та алгоритмів керування, які забезпечують мінімізацію пікових навантажень. Дослідження [2] підтвердило ефективність комбінованих систем керування, де оптимізація режимів виконується за допомогою математичних моделей, що мінімізують втрати енергії та підвищують надійність мікромереж. У роботі [3] зазначено, що когенераційні фотоелектричні модулі значно покращують стабільність генерації, якщо інтегруються у системи з правильним розподілом навантажень. Подібні висновки містяться у [4], де показано, що поєднання накопичувачів та алгоритмів керування Smart Grid дозволяє суттєво зменшити залежність будівлі від зовнішньої мережі. Дослідження [5] демонструє важливість систем накопичення енергії як ключового елемента сталого розвитку, адже їх наявність забезпечує згладжування добових коливань та покращує якість електроживлення. У роботі [6] експериментально доведено, що комбінація

вітрових та сонячних джерел із батарейними накопичувачами є найстійкішою у режимах із нерівномірним навантаженням. Окрема група досліджень [7–12] присвячена організації будівельного виробництва, методам підвищення ефективності та впровадженню структур, які забезпечують стабільність технічних параметрів об'єктів. У роботі [7] зосереджено увагу на розвитку малоповерхового будівництва та його ролі у формуванні масштабованих виробничих схем. У [8] розкрито механізми функціонування кластерних систем, що забезпечують синергетичний ефект у процесах зведення об'єктів. Значний внесок у формування організаційно-технологічних підходів зроблено у [9], де проаналізовано ефективність інноваційних моделей та їх здатність стабілізувати виробничі процеси. У роботі [10] наголошено на впливі адміністративно-територіальних трансформацій на будівельну галузь, а в [11] обґрунтовано доцільність використання кластерних структур як інструменту підвищення керованості. У дослідженні [12] розглянуто цифрове моделювання як основу оптимізації операцій, включаючи контроль критичних етапів та мінімізацію похибок.

Окрему увагу привертають наукові роботи, які безпосередньо пов'язані з цифровими та енергетичними аспектами будівництва. У [13] показано модель організації будівництва індивідуальних будинків із використанням повторюваних проектних рішень, що забезпечує стабільність енергетичних характеристик. У дослідженні [14] сформульовано інституційні та поведінкові чинники, від яких залежить підвищення енергоефективності у реальних виробничих процесах, а також окреслено механізми практичної стимуляції ефективного енергоспоживання. Отже, узагальнення літератури показує, що сучасні підходи до оптимізації електроспоживання будівель перебувають на перетині цифрових технологій, інтегрованих енергетичних систем та організаційних рішень будівельного виробництва. Саме їх взаємодія забезпечує створення стабільних, передбачуваних і керованих енергоефективних об'єктів. Однак, не розроблено повноцінної інтегрованої системи організації будівельного процесу енергоефективних будівель з оптимізацією енергетичних режимів.

### **3. Мета і задачі дослідження**

Мета роботи: визначити необхідність створення організаційно-технологічної моделі будівництва на основі інформаційного моделювання та системної оптимізації режимів електропостачання як на стадії будівництва так і подальшої експлуатації енергоефективних житлових, виробничих та громадських об'єктів нерухомості.

Для досягнення мети поставлено задачі:

1. Проаналізувати особливості енергетичної ефективності сучасних будівель і визначити роль енергетичного сертифіката та фактичних режимів електроспоживання у формуванні стабільної роботи інженерних систем.

2. Обґрунтувати технологічні принципи організації будівельного процесу та монтажу інженерних систем, які забезпечують точність відтворення проектних енергетичних параметрів та зниження втрат.

3. Розробити математичну модель оптимізації режимів електроживлення будівлі та запропонувати індекс енергостабільності, який кількісно описує відповідність фактичних та проектних режимів електроспоживання.

**4. Виклад основного матеріалу.** Одним із ключових індикаторів якості сучасної будівлі є сертифікат енергетичної ефективності, який визначає клас енергоспоживання, теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій, ефективність інженерних систем та загальний рівень енергетичних втрат. На практиці більшість існуючих будівель в Україні демонструють низькі показники енергоефективності, що підтверджено даними Держенергоефективності [15], де понад 85 % житлового фонду віднесено до класів С, D, E або нижче. Це означає, що будівлі мають значні теплові втрати, низьку ефективність інженерних систем та відсутність будь-яких механізмів управління електроспоживанням. Проблема ускладнюється зростаючою електрифікацією інженерних систем: теплових насосів, вентиляційних установок, зарядних станцій, насосів, систем рекуперації та іншого обладнання, що створює суттєві пікові навантаження. За відсутності оптимізації це призводить до:

- надмірного споживання електроенергії;
- збільшення експлуатаційних витрат;
- перевантаження внутрішніх мереж;
- підвищеного ризику аварійних режимів;
- зниження ресурсу обладнання;
- нестабільності роботи інженерних систем.

Фактичні виміри в експлуатованих будівлях показують, що різниця між проектними та реальними енергетичними параметрами сягає 25–40 %, що свідчить про системну відсутність контролю режимів електроспоживання. Сертифікат енергоефективності у його теперішньому вигляді фіксує лише паспортні характеристики будівлі, але не враховує динамічну поведінку електросистем, яка залежить від режимів експлуатації, користувацьких сценаріїв та параметрів роботи обладнання. Саме тому оптимізація електроспоживання має стати невід'ємним компонентом і проектування, і експлуатації будівлі. Однак реалізувати це можливо тільки за умови створення

єдиної цифрової моделі, що описує всі енергетичні процеси- від технічних параметрів обладнання до графіків навантаження, генерації та зберігання електроенергії. Такі можливості забезпечує ВІМ, який у поєднанні з алгоритмами оптимізації дозволяє:

- моделювати енергетичні процеси ще до початку будівництва;
- формувати точні сценарії роботи інженерних систем;
- визначати очікувані профілі навантаження;
- передбачати пікові ситуації;
- знижувати загальну вартість електроспоживання;
- підвищувати клас енергоефективності та стійкість будівлі.

Запропонована у статті організаційно-технологічна модель формує цифрову енергетичну архітектуру будівлі, здатну до саморегулювання, прогнозування та стабілізації електроспоживання у режимі реального часу.

При виконанні робіт по забудові території або спорудженні енергоефективних будівельних комплексів лінійно-потоким методом, розробка моделей з підвищення стабільності енергоспоживання є обов'язковою.

4.1. ВІМ-бібліотека енергетичних рішень. В інформаційне середовище організації будівництва включаються типізовані інженерні модулі: теплові насоси; системи вентиляції з рекуперацією; сонячні електростанції (для індивідуальних будинків: 6–12 кВт); системи зберігання енергії (2–10 кВт·год); «розумні» шафи розподілу навантажень.

Формула коефіцієнта цифрової повторюваності:

$$K_{rep} = \frac{n_d}{n_i}$$

де  $n_d$  – кількість ідентичних ВІМ-модулів у серії,

$n_i$  – загальна кількість модулів.

4.2. Лінійно-потокима організація робіт

Будівля ділиться на 8–10 зон: фундамент-стіни-перекриття-дах-інженерія ОВ- електрика-PV-фасад-інтер'єри-благоустрій території. **Формула такту:**

$$T = \frac{C}{Z}$$

де C – цикл будівництва (для індивідуального Energy+ будинку  $\approx$  120 днів),

Z – кількість зон.

Це дозволяє уникати простоїв, підвищувати точність монтажу, контролювати якість критичних енергетичних вузлів.

4.3. Модель оптимізації електропостачання. Рівняння балансу потужності:

$$P_{PV}(t) + P_{bat}(t) + P_{grid}(t) = P_{load}(t)$$

де  $P_{PV}(t)$  - потужність, яку генерує сонячна електростанція в момент часу  $t$ . Вимірюється у кВт. Може змінюватися щосекунди, залежно від інсоляції. Якщо сонця мало - близько до нуля. У пікові години - максимальна;

$P_{bat}(t)$  - потужність, яку віддає або поглинає акумуляторна система. Якщо батарея віддає енергію, тоді  $P_{bat}(t) > 0$ . Якщо батарея заряджається, тоді  $(t) < 0$  (від'ємне значення). Потужність обмежується параметрами батареї і інвертора.

$P_{grid}(t)$  - потужність отримана з мережі.

Схема балансу потужностей енергоефективного об'єкту нерухомості з власною СЕС приведена на рис.1.

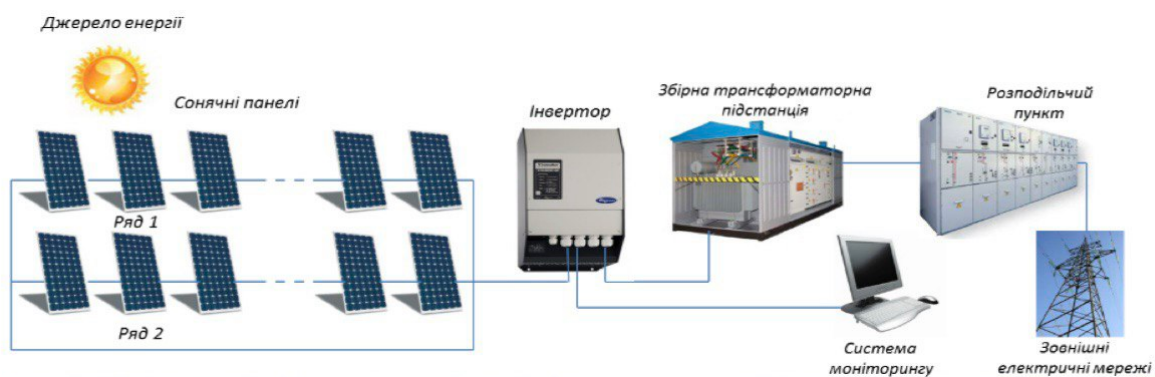


Рис.1. Схема балансу потужностей енергоефективного об'єкту нерухомості

Це рівняння означає, що в кожен момент часу  $t$  сумарна доступна електрична потужність із різних джерел повністю покриває навантаження будівлі. Це ключовий елемент оптимізації: система вирішує, коли заряджати, а коли розряджати. Будинок у кожний момент часу  $t$  повинен мати енергетичний баланс, тобто: електронергія з PV + енергія з батареї + енергія з мережі = поточне навантаження будинку. Якщо одна з величин падає (наприклад, PV), інші автоматично компенсують дефіцит. Як це використовується в оптимізації. Оптимізатор вирішує:

- коли брати енергію з PV,
- коли активувати батарею,
- коли змінювати режими заряд/розряд,
- коли купувати мінімум з мережі,
- як мінімізувати добове  $E_{grid}$ .

Дана модель Smart Grid, VPP та зберігання електроенергії застосовується в енергоефективних будинків торгової марки Business House. Приклад енергетичного сертифікату стандарту NZEB (близький до нульового споживання енергії) будинку Start, рис 2.

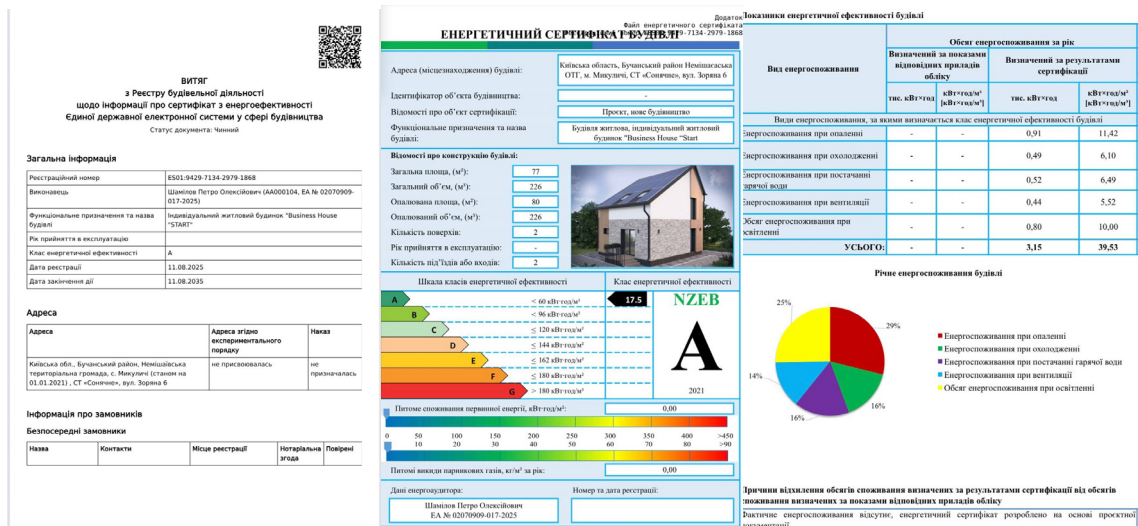


Рис.2. Енергетичний сертифікат будинку Start TM Business House стандарту NZEB.

#### 4.4. Показник енергостабільності.

Запропоновано індекс енергостабільності:

$$I_{stab} = 1 - \frac{\delta_E}{E_c}$$

де  $\delta_E$  - стандартне відхилення фактичного енергоспоживання,

$E_c$  - проектне цільове значення енергоспоживання.

#### 4.5. Інтеграція BIM-моделі та енергетичної аналітики

Єдина цифрова модель дозволяє: моделювати теплотехнічні втрати; прогнозувати графік навантажень; автоматично підбирати PV та накопичувач; формувати паспорти енергетичної якості; контролювати монтаж через check-lists.

### 5. Висновки.

1. Встановлено, що низька енергоефективність більшості існуючих будівель та відсутність динамічного контролю електроспоживання суттєво знижують стабільність інженерних систем. Сертифікат енергетичної ефективності повинен враховувати не лише конструктивні характеристики будівлі, а й реальні енергетичні режими, що підтверджує необхідність їх оптимізації.

2. Показано, що технологічна точність виконання робіт, зокрема при монтажі інженерних і електротехнічних систем, безпосередньо впливає на відтворюваність енергетичних параметрів будівлі. Лінійно-поточкова організація

робіт забезпечує зменшення похибок та підвищує стабільність енергоспоживання.

3. Розроблена математична модель оптимізації електроживлення та запропонований індекс енергостабільності дозволяють оцінювати відхилення фактичного електроспоживання від проектних значень, мінімізувати пікові навантаження та забезпечити керувану роботу енергетичної системи будівлі.

Практичне значення роботи полягає у можливості застосування моделі під час масштабної відбудови України та створення нової високотехнологічної будівельної індустрії.

### Список літератури

1. Lezhniuk P.D., Buslavets O.M., Rubanenko O.V. Balancing electricity generation and consumption in a system with renewable energy sources // 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). Kharkiv, 2021. P. 63–68. DOI: <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570087>

2. Luo Y., Shi L., Tu G. Optimal sizing and control strategy of isolated grid with wind power and energy storage system // Energy Conversion and Management. 2014. Vol. 80. P. 407–415. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.01.061>

3. Halko S.V. Експериментальне дослідження і визначення параметрів когенераційного фотоелектричного модуля для гібридних сонячних електростанцій // Традиційні та інноваційні підходи до наукових досліджень. Луцьк, 2020. С. 83–90. DOI: <https://doi.org/10.36074/10.04.2020.v1.10>

4. Miroshnyk O., Moroz O., Shchur T., Chepizhnyi A., Qawaqzeh M., Kocira S. Investigation of Smart Grid Operation Modes with Electrical Energy Storage System // Energies. 2023. Vol. 16(6). 2638. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16062638>

5. Hannan M.A., Al-Shetwi A.Q., Begum R.A., Ker P.J., Rahman S.A., Mansor M., Mia M.S., Muttaqi K.M., Dong Z.Y. Impact assessment of battery energy storage systems towards achieving sustainable development goals // Energy Storage. 2021. Vol. 42. 103040. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103040>

6. Dali M., Belhadj J., Roboam X. Hybrid solar–wind system with battery storage operating in grid-connected and standalone mode: control and energy management – experimental investigation // Energy. 2010. Vol. 35. P. 2587–2595. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.03.005>

7. Перегінець І.І. Розвиток малоповерхового житлового будівництва України через житлово-будівельну кооперацію // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. 2014. Вип. 77. С. 139–143.

8. Перегінець І.І. Синергетичний ефект кластерних домобудівних структур // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. 2016. Вип. 87. С. 92–97.

9. Перегінець І.І. Ефективність інноваційних моделей будівельного виробництва // *Строительство. Материаловедение. Машиностроение*. 2016. Вип. 91. С. 115–118.
10. Перегінець І.І. Адміністративно-територіальна реформа в Україні як джерело розвитку малоповерхового домобудування // *Строительство. Материаловедение. Машиностроение*. 2015. Вип. 82. С. 149–153.
11. Перегінець І.І. Кластерні форми організації будівельного виробництва // *Містобудування та територіальне планування*. 2017. Вип. 64. С. 560–569.
12. Перегінець І.І. Організація будівництва індивідуальних будинків стандарту NZEB // *Містобудування та територіальне планування*. 2025. Вип. 90. С. 366–376. DOI: <https://doi.org/10.32347/2707-816X.2025.90.366-376>
13. Перегінець І.І., Дікарев К.Б., Юрченко ЄЛ., Сопільняк А.М. Інституційні та поведінкові аспекти підвищення енергоефективності // *Spatial Development*. 2025. Вип. 14. С. 160–171. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2025.14.160-171>
14. Перегінець І.І., Смірнов Ю.О. Цифрова трансформація будівельного виробництва // *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2025. Вип. 71. С. 130–139. DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2025.71.130-139>
15. Держенергоефективності України. Статистика впровадження відновлюваної енергетики [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://saee.gov.ua/> (дата звернення: 23.09.2025).

Candidate of Technical Sciences **Pereginets Ivan**,  
Director of the Scientific and Technological Center  
of the Academy of Civil Engineering of Ukraine, Kyiv, Ukraine,  
**Smirnov Yuriy**,  
NTU "Dnipro Polytechnic", Dnipro, Ukraine

## FUNDAMENTALS OF CONSTRUCTION AND TECHNOLOGICAL PROCESSES OF ENERGY-EFFICIENT OBJECTS WITH SYSTEMIC OPTIMIZATION OF POWER SUPPLY MODES

This scientific work considers the organizational and technological foundations of optimizing electricity consumption in modern buildings based on the integration of information modeling methods and energy process management algorithms. It is substantiated that the growth of the share of electrified engineering systems in residential and public facilities requires a transition from the traditional approach to designing electrical networks, focused on static calculations, to dynamic control of load modes in real time. BIM technologies provide the ability to create a digital

model of a building that contains accurate parameters of electrical consumers, network elements and power sources, which forms the basis for mathematical forecasting of energy processes and increasing their controllability. The proposed model includes the construction of a BIM library of energy components, the use of workflow organization with precise control of engineering operations, the formation of a mathematical model of electricity consumption and the development of an optimization algorithm that combines the work of the load, solar generation, storage systems and network power. Special attention is paid to the definition of the energy stability index, which allows to assess the reproducibility of the energy parameters of the building during its operation.

It is shown that the combination of information modeling, time analytics and electrical load balancing algorithms allows to reduce peak consumption, increase the efficiency of engineering systems, reduce losses and ensure more accurate control of critical modes. The practical significance of the work lies in the possibility of applying the proposed model in the design, construction and operation of new generation facilities, where energy manageability and digital monitoring are becoming key requirements of the modern construction industry.

Keywords: BIM modeling; energy consumption; power supply optimization; power balance; energy stability; digital building model; energy storage systems; solar generation; electrical modes; organizational and technological processes.

## REFERENCES

1. Lezhniuk P.D., Buslavets O.M., Rubanenko O.V. Balancing electricity generation and consumption in a system with renewable energy sources // 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). Kharkiv, 2021. P. 63–68. DOI: <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570087> {in English}
2. Luo Y., Shi L., Tu G. Optimal sizing and control strategy of isolated grid with wind power and energy storage system // Energy Conversion and Management. 2014. Vol. 80. P. 407–415. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.01.061> {in English}
3. Halko S.V. Experimental study and determination of parameters of cogeneration photovoltaic module for hybrid solar power plants // Traditional and innovative approaches to scientific research. Lutsk, 2020. P. 83–90. DOI: <https://doi.org/10.36074/10.04.2020.v1.10> {in Ukrainian}
4. Miroshnyk O., Moroz O., Shchur T., Chepizhnyi A., Qawaqzeh M., Kocira S. Investigation of Smart Grid Operation Modes with Electrical Energy Storage System // Energies. 2023. Vol. 16(6). 2638. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16062638> {in English}

5. Hannan M.A., Al-Shetwi A.Q., Begum R.A., Ker P.J., Rahman S.A., Mansor M., Mia M.S., Muttaqi K.M., Dong Z.Y. Impact assessment of battery energy storage systems towards achieving sustainable development goals // *Energy Storage*. 2021. Vol. 42. 103040. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103040> {in English}
6. Dali M., Belhadj J., Roboam X. Hybrid solar–wind system with battery storage operating in grid-connected and standalone mode: control and energy management – experimental investigation // *Energy*. 2010. Vol. 35. P. 2587–2595. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.03.005> {in English}
7. Pereginets I.I. Development of low-rise housing construction in Ukraine through housing and construction cooperation // *Construction. Materials Science. Mechanical Engineering*. 2014. Issue 77. P. 139–143. .{in Ukrainian}
8. Pereginets I.I. Synergetic effect of cluster housing structures // *Construction. Materials Science. Mechanical Engineering*. 2016. Issue 87. P. 92–97. .{in Ukrainian}
9. Pereginets I.I. Efficiency of innovative models of construction production // *Construction. Materials Science. Mechanical Engineering*. 2016. Issue 91. P. 115–118. {in Ukrainian}
10. Pereginets I.I. Administrative and territorial reform in Ukraine as a source of development of low-rise housing // *Construction. Materials Science. Mechanical Engineering*. 2015. Issue 82. P. 149–153. {in Ukrainian}
11. Pereginets I.I. Cluster forms of organization of construction production // *Urban planning and territorial planning*. 2017. Issue 64. P. 560–569. {in Ukrainian}
12. Pereginets I.I. Organization of construction of individual houses of the NZEB standard // *Urban planning and territorial planning*. 2025. Issue 90. P. 366–376. DOI: <https://doi.org/10.32347/2707-816X.2025.90.366-376> {in Ukrainian}
13. Pereginets II., Dikarev K.B., Yurchenko E.L., Sopilnyak A.M. Institutional and behavioral aspects of increasing energy efficiency // *Spatial Development*. 2025. Issue 14. P. 160–171. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2025.14.160-171>. {in Ukrainian}
14. Pereginets I.I., Smirnov Yu.O. Digital transformation of construction production // *Contemporary problems of architecture and urban planning*. 2025. Issue 71. P. 130–139. DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2025.71.130-139> {in Ukrainian}
15. State Agency for Energy Efficiency of Ukraine. Statistics on the introduction of renewable energy [Electronic resource]. - Access mode: <https://saee.gov.ua/> (access date: 23.09.2025). {in Ukrainian}