

В.А. Степаненко, магістр, ORCID 0000-0001-6176-589X
Ю.А. Веремійчук, канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0003-0258-0478
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ

Впровадження інтегрованої системи енергозабезпечення є ефективним заходом підвищення енергоефективності, зменшення викидів CO₂ та збільшення використання відновлюваної енергії, а також являє собою можливість для виробництва, перетворення та зберігання енергії у взаємозв'язаних інфраструктурах для операторів енергетичних систем та споживачів. Також підвищення рівня енергоефективності системи енергозабезпечення є однією з важливих стратегій уповільнення зростання попиту та пом'якшення негативного впливу на здоров'я, економіку та навколишнє середовище. В статті розглянуто інтегроване використання енергії, запровадження енергетичних хабів як складової частини майбутніх енергетичних мереж та запропоновано принципову схему інтегрованої системи енергозабезпечення у поєднанні з системами вентиляції та кондиціонування. В роботі представлено результати моделювання та проведення обчислювального експерименту функціонування систем вентиляції та кондиціонування в структурі інтегрованої системи енергозабезпечення з урахуванням технічних і експлуатаційних характеристик дахової СЕС, вимог нормативно-технічних документів та будівельних норм. За результатами дослідження встановлено, що графіки генерації СЕС і режими споживання електроенергії системами вентиляції та кондиціонування подібні, що призводить до зменшення експлуатаційних витрат та зменшення навантаження на систему електропостачання будівлі. Набуло подальшого розвитку наукове обґрунтування інтеграції системи накопичення енергії в структуру енергозабезпечення, що забезпечить надійність електропостачання та ефективність роботи сонячної електростанції.

Ключові слова: енергетичний хаб, багатоенергетична система, відновлювальне джерело енергії, накопичення енергії, інтегрована система, генерація електричної енергії, система вентиляції та кондиціонування.

Вступ

У поточному столітті енергетична галузь містить у собі одні з найголовніших проблем, що стоять перед людством. Ці проблеми виникають у різних сферах, такі як постачання, перетворення та споживання енергії. Через зростання населення, збільшення глобального попиту на енергію, дефіциту викопних видів палива та через екологічні проблеми енергетична безпека стала критичною проблемою для всіх країн світу.

Взаємозв'язок енергетики з економічними, соціальними, екологічними аспектами подвоїло важливість цих питань, оскільки енергетична галузь рівноправно забезпечує кінцевих споживачів доступними за ціною, надійними, ефективними, регульованими та соціально прийнятними енергетичними послугами [1].

Оскільки потреби в опаленні та охолодженні, включаючи безпосередній температурний режим у приміщеннях, гарячому водопостачанні, приготуванні їжі, складають понад 40% світового енергоспоживання, то зменшення використання викопної енергії для цих потреб залишається однією з найбільших проблем енергетичного переходу [2].

Більша частина енергії, що використовується для опалення, вентиляції та кондиціонування (ОВіК), продовжує вироблятися з викопного палива (рис. 1).

Відповідно до аналізу літературних джерел [3,4] на житлові та комерційні будівлі в США припадає майже 42% загального споживання енергії, тоді як значна частина споживання енергії в цьому секторі припадає на опалення, вентиляцію і кондиціонування (35% у житлових та 32% у комерційних будівлях). Також споживання енергії будівлями є основною проблемою і в Європейському Союзі, де на будівельний сектор припадає 40% загального споживання первинної енергії.

В Україні громадські та житлові будівлі також є головними споживачами енергії. На сьогоднішній день головними проблемами таких будівель є витрати енергії на опалення (42 % від всієї виробленої теплової енергії), відсутність контрольного повітрообміну та недотримання оптимальних умов мікроклімату[5,6].

© В.А. Степаненко, Ю.А. Веремійчук, 2020

Велика частка споживання енергії означає, що швидка декарбонізація, яка використовується для задоволення цих потреб, є критично важливою для досягнення цілей щодо клімату, довкілля та сталого розвитку. Незважаючи на цю реальність, споживання енергії системами ОВіК продовжує зростати, оскільки дані системи використовуються при сучасному будівництві з метою дотримання оптимальних умов мікроклімату. При цих параметрах зберігається тепловий стан людини та створюються передумови для високої продуктивності, тому виконання цих умов регламентується державними та світовими нормами [8,9], та мають дотримуватися при новому будівництві, реконструкції, термомодернізації, капітальному ремонті та технічному переоснащенні існуючих систем.



Рисунок 1 – Частка джерел енергії в загальному кінцевому споживанні енергії на системи ОВіК [7]

Тому реалізація комплексних рішень щодо використання енергії є ефективним способом підвищення енергоефективності, зменшення викидів CO₂ та збільшення використання відновлюваної енергії, що є однією з найбільш актуальних проблем енергетичної галузі. Таким чином, інтегровані енергетичні системи, також відомі як багатоенергетичні системи або енергосистеми з декількома носіями, знаходяться у швидкому розвитку.

Запровадження енергетичних хабів як основної частини майбутніх енергетичних мереж забезпечує можливість для виробництва, перетворення та зберігання енергії у різних взаємозв'язаних інфраструктурах з метою переходу до більш енергоефективних та гнучких систем [10].

Мета та завдання

Метою даної роботи є моделювання та проведення обчислювального експерименту функціонування систем вентиляції та кондиціонування в структурі інтегрованої системи енергозабезпечення з урахуванням технічних і експлуатаційних характеристик дахової СЕС.

Матеріал і результати досліджень

Удосконалення систем опалення, вентиляції та кондиціонування для декарбонізованого енергетичного майбутнього вимагає поєднання конкретних рішень, що відповідають потребам цих систем, доступності ресурсів, рівні розвитку сектору відновлюваної енергетики, існуючій інфраструктурі та макроекономічним умовам. Наявні рішення дуже різняться за багатьма параметрами, включаючи різні температури, залежність палива та ланцюги постачання.

Перехід від викопного палива до ефективних електричних технологій, що використовують відновлювану електроенергію, впровадження електрифікованих технологій опалення, вентиляції та кондиціонування створює значний потенціал для зменшення викидів парникових газів.

Поліпшення теплової ефективності житлових будинків призводить до значної економії енергоресурсів та суттєво знижує витрати на кліматичну політику, оскільки наявність більш ефективних будинків зменшує пікову потужність, потужність охолодження, вентиляції та опалення приміщень, а також загальне споживання енергії. Ця економія коштів особливо велика в кліматі, де пікове електричне навантаження обумовлене потребою в охолодженні приміщення [11].

У зв'язку з цим, а також відповідно до європейських директив та Закону України «Про енергетичну ефективність будівель», в якому у січні 2020 р. було схвалено концепцію реалізації державної політики у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель у частині збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії [12].

Перший крок у трансформації передбачає вдосконалення енергоефективності для зменшення попиту та втрат, де це можливо. Для ефективної роботи систем енергозабезпечення будівлі можуть потребувати значного підвищення енергоефективності, тобто комплексної модернізації [13, 14].

До традиційних рішень щодо енергозбереження при новому будівництві чи реконструкції відносяться методи, пов'язані зі зниженням інфільтрації та ексільтрації повітря, а також із зменшенням

теплових втрат через огорожувальні конструкції будівель і споруд. Проте в сучасних умовах все більшої актуальності набувають роботи із застосуванням технологічних і технічних рішень по організації і конструктивним виконанням систем забезпечення мікроклімату приміщень житлових і громадських будівель, спрямованих на скорочення споживання енергії [15,16].

Одним із способів зменшення електроспоживання системами вентиляції є регулювання продуктивності вентиляційних установок шляхом зміни швидкості обертання їх робочого елемента. Ефективність даного способу регулювання продуктивності досягається за рахунок того, що зменшення швидкості обертання робочого колеса призводить до одночасного зменшення його продуктивності і напору на нагнітання повітря [17].

З врахуванням зростання вартості енергоресурсів і обмежень на встановлену потужність вентиляційне обладнання стає одним з загально визначених пристроїв утилізації теплоти повітря [18].

Також під час експлуатації будівлі відбувається погіршення компонентів систем ОВіК, що призводить до зниження її енергоефективності. Для вирішення цієї проблеми використовують метод безперервного введення в експлуатацію систем ОВіК [19]. Згідно з Федеральною програмою енергоменеджменту у США [20], безперервне введення в експлуатацію забезпечило в середньому економію 20% із терміном окупності менше трьох років (часто один-два роки) у понад 130 великих будівлях.

Однак зниження попиту на енергію вирішує лише частину проблеми, і цього недостатньо для зменшення викидів парникових газів, досягнення цілей сталого розвитку та доступу до енергії. Поряд з ефективністю, відновлювана енергія відіграватиме фундаментальну роль у декарбонізації енергії, що використовується для опалення, вентиляції та кондиціонування.

У більшості варіантів модернізації, відновлювані джерела енергії все ще можуть доповнюватися традиційними джерелами енергії. Наприклад, сонячні теплові системи можуть потребувати резервного живлення. Тому необхідно розглядати широку стратегію декарбонізації систем ОВіК та застосувати комбінацію різних параметрів.

Електрифікація систем ОВіК передбачає використання ефективних електричних технологій, що живляться відновлюваною електроенергією, насамперед у будівлях та промислових підприємствах. Цей шлях поєднує зусилля щодо збільшення частки відновлюваних джерел енергії в енергетичному секторі, а також електрифікацію систем енергозабезпечення за допомогою енергоефективних приладів.

Хоча широко розповсюджена електрифікація систем ОВіК може суттєво збільшити загальний попит на електроенергію, вона також створює потенціал для забезпечення гнучкості системи електроенергетики шляхом вдосконалення реагування на попит, тим самим полегшуючи інтеграцію більшої частки відновлюваних джерел енергії, таких, як сонячна та вітрова. Але ми повинні враховувати всі галузі енергетики комплексно, а не лише електроенергію. У зв'язку з цим ключовим пунктом для досягнення стійких енергетичних систем є звернення уваги на роль системи, в якій різні енергоносії взаємодіють оптимально та на різних рівнях

Оптимальна продуктивність багатоенергетичних систем може призвести до технічних, економічних та екологічних переваг, таких як підвищення надійності системи, зниження експлуатаційних витрат, споживання палива та викидів шкідливих речовин. Однак для успішної роботи цих систем необхідна інтегрована система управління, яка може оптимально керувати різними компонентами системи [21, 22, 23].

Впровадження концепції *energy hub (EH)* є перспективним варіантом для оптимального управління багатоенергетичними системами та для досягнення комплексної моделі із стійких енергетичних систем. Проаналізувавши різні інтегровані системи енергозабезпечення слід зазначити, що концепції *energy hub (EH)* є перспективним варіантом для оптимального управління багатоенергетичними структурами та для досягнення комплексної моделі із стійких енергетичних систем.

Основними джерелами моделей *EH* є електроенергія та природний газ, серед альтернативних варіантів науковці розглядають потенціал ВДЕ.

Тому запропоновано розглянути інтегровану систему енергозабезпечення корпусу №22 з використанням сонячних електричних станцій (СЕС) та системи вентиляції, принципову схему якої представлено на рис. 3.

Представлена модель *EH* має три вхідні джерела енергії: теплову та електричну мережі, а також обладнана даховою СЕС. Теплова енергія використовується для системи опалення, а головним споживачем електричної енергії, генерованою СЕС, виступатиме запроєктована система вентиляції та кондиціонування.

Моделювання роботи і розрахунок даних систем здійснювався для трьох приміщень загальною площею 216 м² навчального корпусу №22 НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». Розрахунок проводився з врахуванням нормам ДБН В.2.5-67:2013 "Опалення, вентиляція та кондиціонування" також керувалися

положеннями ДБН В.2.2-3:2018 "Заклади освіти" , але за умови, якщо вони доповнюють або уточнюють ДБН В.2.5-67:2013, та не погіршують його вимоги.

Приймаючи до уваги, що рівень метаболізму людини при сидячій розумовій роботі становить 70 Вт/м² або 1,2 мет, а в свою чергу термічний опір одягу дорівнює 0,105-0,110 м²·°C/Вт (0,7 кло), то результуюча температура в приміщеннях має дорівнювати 22°C, допустимий діапазон відхилень при цьому складає ± 2 °C.

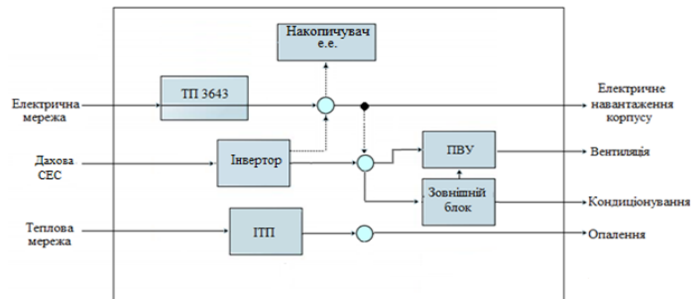


Рисунок 3 – Принципова схема інтегрованої системи енергозабезпечення корпусу №22

При визначенні мінімальної витрати повітря потрібно врахувати забруднюючі речовини, що надходять від огорожувальних конструкцій та внутрішнього оздоблення, а також надходження від людей. Тому мінімальна витрата припливного повітря була обчислена за формулою (1):

$$L_{tot} = n \cdot l_p + S \cdot l_b, \quad (1)$$

де L_{tot} - загальна мінімальна витрата зовнішнього повітря, дм³/с; n - максимальна можлива кількість людей у приміщенні, люд.; l_p - питома витрата зовнішнього повітря на людину, дм³/ (с · люд.); S - загальна площа приміщення; l_b - питома витрата зовнішнього повітря на зменшення концентрації забруднень від будівельних конструкцій, дм³/ (с · м²).

В нашому випадку було дотримано оптимальні умови мікроклімату, оскільки при тривалому перебуванні людини при цих параметрах забезпечується зберігання теплового стану та створюються передумови для високої продуктивності.

Для автоматизації розрахунків навантаження на систему опалення та вентиляції використано програмне забезпечення Audytor OZC (рис. 4), а для системи кондиціонування - "Северный ветер", що має можливість враховувати теплонадходження в тепловому балансі приміщення.

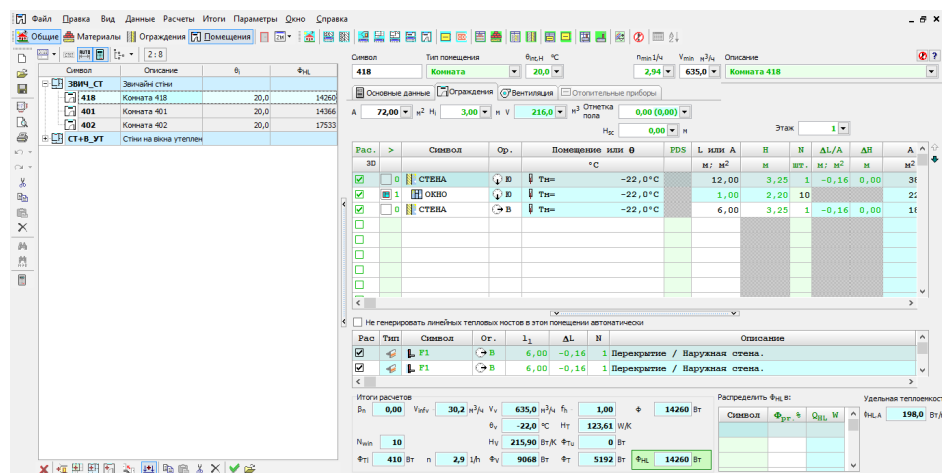


Рисунок 4 – Вікно програми " Audytor OZC " з результатами розрахунків

З метою забезпечення нормованих параметрів мікроклімату проектування систем ОВІК проводиться для температури зовнішнього повітря для найхолоднішої п'ятиденки забезпеченістю 0,92 та для найжаркішої доби забезпеченістю 0,95 (для м. Києва -22 °C і +35 °C відповідно). Тому для визначення питомої річної енерговитрати цими системами потрібно було зробити перерахунок для середніх температур за наступною формулою:

$$Q_{\text{ОВіК}}^{\text{сп}} = Q_{\text{ОВіК}}^{\text{р}} \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{ср.ОВіК}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{р.ОВіК}}}, \quad (2)$$

де $Q_{\text{ОВіК}}^{\text{р}}$ - розрахункова витрата теплоти на вентиляцію, опалення чи кондиціонування будівель і споруд, що визначаються за $t_{\text{р.ОВіК}}$, Вт; $t_{\text{ср.ОВіК}}$ - середня температура зовнішнього повітря за період, °С.

Визначення годин опалювального періоду здійснювалося з урахуванням наступних умовностей: з листопада по березень опалення постійне, а в жовтні та квітні тривалість годин опалювального періоду становить половину тривалості цих місяців. В цей проміжок системи вентиляції та опалення працюють на обігрів, а в іншій решті року системи вентиляції та кондиціонування - на охолодження.

Також було прийнято до уваги графік використання приміщень, за якого навчальний та робочий процес триває з 8:00 до 18:00. В цей період дня в аудиторіях підтримується результуюча температура на рівні 20°C, а в нічний час та у вихідні дні температура чергового режиму опалення знижується до 16 °С.

Для системи вентиляції було підібрано припливно-витяжну вентиляцію з роторним теплообмінником, фреоновим охолодженням та підігрівом зовнішнього повітря. Система кондиціонування містить зовнішні та внутрішні каналні блоки. Після цього проведено розрахунок споживання електричної енергії системами ОВіК для забезпечення нормованих параметрів мікроклімату в приміщеннях.

Отримані дані порівняно із генерацією електричної енергії дахової СЕС, встановленої на даху 22 корпусу [24,25] та представлено графічно на рис. 5.

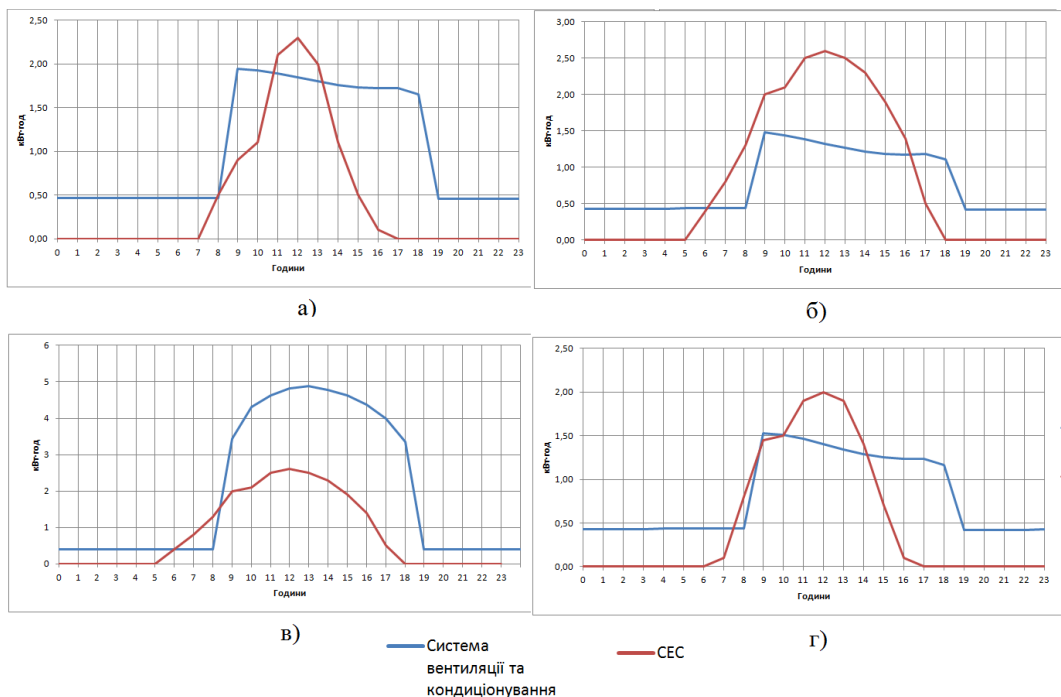


Рисунок 5 – Графік генерації електричної енергії СЕС та споживання електричної енергії системою вентиляції та кондиціонування у а) лютому; б) квітні; в) червні; г) жовтні

Проаналізувавши отримані графіки, бачимо перевищення генерації СЕС над споживанням електричної енергії системами вентиляції та кондиціонування у весняний період, а також часткове перевищення у зимовий та осінній період. В літні місяці СЕС зменшує пікове навантаження системи на 50%.

Для вирішення цієї проблеми потрібно використати системи накопичення енергії для створення балансу між попитом та пропозицією, що і було передбачено у принциповій схемі. Акумуляування енергії забезпечить підвищення надійності електропостачання та полегшення інтеграції ВДЕ в систему енергозабезпечення.

Висновки

В роботі було проведено аналіз ефективності систем енергозабезпечення, і було встановлено, що більша частина енергії, яка використовується для опалення, вентиляції та кондиціонування, продовжує вироблятися з викопного палива. Тому підвищення енергоефективності систем енергозабезпечення є

однією з важливих стратегій уповільнення зростання попиту та пом'якшення негативного впливу на здоров'я, економіку та навколишнє середовище. Встановлено що, відновлювана енергія відіграватиме фундаментальну роль у декарбонізації енергії набуває поширеного застосування в комбінації з системами опалення, вентиляції та кондиціонування.

Також здійснено проектування системи вентиляції та кондиціонування з врахуванням річного енергоспоживання навчальних аудиторій корпусу №22 КПІ ім. Ігоря Сікорського. Представлено результати моделювання роботи сонячної електростанції та проведено порівняння отриманих даних з реальними значеннями генерації електричної енергії.

Встановлено, що генерація СЕС у порівнянні з режимом роботи систем вентиляції та кондиціонування відбувається синхронно, що призводить до зменшення експлуатаційних витрат та пікового навантаження корпусу. Тому запропонована інтегрована система енергозабезпечення із застосуванням вентиляційних систем дозволить підвищити надійність системи електропостачання та ефективність її роботи.

Список використаної літератури

1. Winzer C. Conceptualizing energy security. *Energy Policy*, 2012, vol. 46, issue C. – P. 36-48.
2. International Energy Agency, *World Energy Statistics and Balances 2020* (database), IEA, Paris. URL: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2020>
3. U.S. Energy Information Administration. 2018 Commercial Buildings Energy Consumption Survey Preliminary Results. URL: <https://www.eia.gov/consumption/commercial/>
4. U.S. Energy Information Administration. Energy use in homes. URL: <https://www.eia.gov/energyexplained/use-of-energy/homes.php>.
5. Дешко В. І. Моніторинг температурного стану навчального корпусу / В. І. Дешко, І. Ю. Білоус // *Енергетика: економіка, технології, екологія : науковий журнал*. – 2015. – № 2 (40). – С. 22–29.
6. Дешко В.І., Білоус І.Ю., Гетманчук Г.О. Бази кліматології для визначення енергетичних характеристик будівель. *Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія»*. 2017. №4. С. 67-73.
7. Renewable Energy Policies in a Time of Transition: Heating and Cooling. URL: <https://www.irena.org/publications/2020/Nov/Renewable-Energy-Policies-in-a-Time-of-Transition-Heating-and-Cooling>
8. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2013. 240 с.
9. ASHRAE 62.1–2019 «Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality». URL: https://ashrae.iwrapper.com/ASHRAE_PREVIEW_ONLY_STANDARDS/STD_62.1_2019
10. R. Li, W. Wei, S. Mei, Q. Hu, and Q. Wu, "Participation of an energy hub in electricity and heat distribution markets: An MPEC approach," *IEEE Trans. Smart Grid*, DOI: 10.1109/TSG.2018.2833279, in press, 2018.
11. Leibowicz, B. D., Lanham, C. M., Brozynski, M. T., Vázquez-Canteli, J. R., Castejón, N. C., & Nagy, Z. (2018). Optimal decarbonization pathways for urban residential building energy services. *Applied energy*, 230. – P. 1311-1325.
12. Концепція реалізації державної політики у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель у частині збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії: розпорядження Кабінету Міністрів України від 29 січня 2020 р. № 88-р.
13. Шляхи підвищення енергоефективності будівель в країнах ЄС та в Україні / А. М. Карюк, О. Б. Кошлатий, Т. В. Львовська, В. А. Пашинський // *Technology, engineering and science – 2018 : I міжнар. наук.-практ. конф.*, Лондон, 24-25 жовтня 2018 р. – Лондон : ПолтНТУ, 2018. – С. 19-21.
14. Бараннік В.О. Енергоефективність регіонів України: проблеми, оцінки та наявний стан / Регіональний філіал Національного інституту стратегічних досліджень у м. Дніпро. – 2017. – 26 с. – [Електронний ресурс]: – URL: <http://www.niss.gov.ua/content/articles/files/energoefekt-5secc.pdf>
15. Демченко В.В., Чуприна Х.М., О.В. Невмержицький О.В. Методи підвищення енергоефективності будівлі [Електронний ресурс]: – URL.: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp2017/paper/view/2664/2042>
16. Дешко В. І., Білоус І. Ю., Буяк Н. А. (2019). Вплив переривчастих режимів опалення на динаміку енергопотребити та умови комфортності будівель із різним рівнем теплового захисту. *Наукові вісті КПІ: міжнародний науково-технічний журнал*, 2019, № 4 (126).
17. Карпенко, В. О. "Регулювання продуктивності вентиляційних установок за рахунок зміни частоти обертання електродвигуна " Матеріали науково-технічної конференції студентів та магістрантів Таврійського державного агротехнологічного університету. Випуск XI. Том II.-Мелітополь: ТДАТУ, 2012.- 318 с. (2012).

18. Губина И.А., Горшков А.С. Энергосбережение в зданиях при утилизации тепла вытяжного воздуха. // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 4 (31). С. 209 - 219.
19. Xiao F, Wang S. Progress and methodologies of lifecycle commissioning of HVAC systems to enhance building sustainability. *Renew Sustain Energy Rev* 2009;13:1144–9.
20. Federal Energy Management Program (FEMP). Continuous Commissioning Guidebook for Federal Managers. 2013. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.456.7173&rep=rep1&type=pdf>
21. Веремійчук Ю.А., Опришко В.П., Притискач І.В., Ярмолюк О.С. Оптимізація функціонування інтегрованих систем енергозабезпечення споживачів. Київ, Видавничий дім «Кий», 2020. 186 с. ISBN 987-617-7177-12-7.
22. Veremiichuk, Y., Prytyskach, I., Yarmoliuk, O., Opryshko, V. Energy Hub Function Optimization Models During Ukrainian Energy Resources Market Liberalization. *Power and Electrical Engineering*. Vol.34, 2017, pp.49-52. ISSN 2256-0238. e-ISSN 2256-0246. Available from: doi:10.7250/pee.2017.009.
23. Yurii Veremiichuk, Ivan Prytyskach, Olena Yarmoliuk and Vitalii Opryshko “Energy sources selection for industrial enterprise combined power supply system” 2019 IEEE 6th International conference on energy smart systems. Kyiv, Ukraine.
24. Веремійчук Ю.А. Степаненко В.А., Експериментальне дослідження ефективності генерації дахової СЕС корпусу №22. XII Науково-технічна конференція Інституту енергозбереження та енергоменеджменту Енергетика. Екологія. Людина 7-8 травня 2020 року С. 144-150.
25. Степаненко, В. А. Інтегрована система енергозабезпечення із застосуванням вентиляційних систем : магістерська дис. : 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Степаненко Віталій Анатолійович. – Київ, 2020. – 108 с.

V. Stepanenko, Master, ORCID 0000-0001-6176-589X
Y. Veremiichuk, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof., ORCID 0000-0003-0258-0478
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

INTEGRATED ENERGY SUPPLY SYSTEM WITH THE USE OF VENTILATION SYSTEMS

The implementation of an integrated energy supply system is an effective way to increase energy efficiency, reduce CO2 emissions and increase the use of renewable energy, as well as provide opportunities for energy production, conversion and storage in interconnected infrastructures for energy system operators and consumers. Also, increasing the level of energy efficiency of the energy supply system is one of the important strategies to slow down the growth of demand and mitigate the negative impact on health, the economy and the environment. The article considers the integrated use of energy, the introduction of energy hubs as part of future energy networks and proposes a schematic diagram of an integrated energy supply system. The article presents the results of modeling and computational experiment of ventilation and air conditioning systems in the integrated power supply system, taking into account the technical and operational characteristics of SES, regulatory and technical documents and building codes. According to the results of the study, it is established that the schedule of SES generation and the schedule of electricity consumption by ventilation and air conditioning systems are similar, which leads to a reduction in operating costs and a reduction in the load on the building's power supply system. The scientific substantiation of the integration of the energy storage system into the energy supply structure has been further developed, which will ensure the reliability of the power supply and the efficiency of the solar power plant.

Keywords: *energy hub, multi-energy system, renewable energy source, energy storage, combined system, electricity generation, ventilation and air conditioning system.*

REFERENCES

1. Winzer C. Conceptualizing energy security. *Energy Policy*, 2012, vol. 46, issue C. – P. 36-48.
2. International Energy Agency, World Energy Statistics and Balances 2020 (database), IEA, Paris. URL: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2020>
3. U.S. Energy Information Administration. 2018 Commercial Buildings Energy Consumption Survey Preliminary Results. URL: <https://www.eia.gov/consumption/commercial/>
4. U.S. Energy Information Administration. Energy use in homes. URL: <https://www.eia.gov/energyexplained/use-of-energy/homes.php>
5. Deshko V. I. Monitorynh temperaturnoho stanu navchalnoho korpusu / V. I. Deshko, I.U. Bilous// *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia : naukovyi zhurnal*. – 2015. – № 2 (40). – P. 22–29.

6. Deshko V.I., Bilous I.U., Hetmanchuk H.O. Bazy klimatohii dlia vyznachennia enerhetychnykh kharakterystyk budivel. Naukovyi zhurnal «Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia». 2017. №4. P. 67-73.
7. Renewable Energy Policies in a Time of Transition: Heating and Cooling. URL: <https://www.irena.org/publications/2020/Nov/Renewable-Energy-Policies-in-a-Time-of-Transition-Heating-and-Cooling>
8. DBN V.2.5-67:2013. Opalennia, ventyliatsiia ta kondytsionuvannia. [Chynnnyi vid 2014-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv, 2013. 240 p.
9. ASHRAE 62.1-2019 «Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality». URL: https://ashrae.iwrapper.com/ASHRAE_PREVIEW_ONLY_STANDARDS/STD_62.1_2019
10. R. Li, W. Wei, S. Mei, Q. Hu, and Q. Wu, "Participation of an energy hub in electricity and heat distribution markets: An MPEC approach," IEEE Trans. Smart Grid, DOI: 10.1109/TSG.2018.2833279, in press, 2018.
11. Leibowicz, B. D., Lanham, C. M., Brozynski, M. T., Vázquez-Canteli, J. R., Castejón, N. C., & Nagy, Z. (2018). Optimal decarbonization pathways for urban residential building energy services. Applied energy, 230. – P. 1311-1325.
12. Kontseptsiiia realizatsii derzhavnoi polityky u sferi zabezpechennia enerhetychnoi efektyvnosti budivel u chastyni zbilshennia kilkosty budivel z blyzkym do nulovoho rivnem spozhyvannia enerhii: rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 29.01.2020 r. № 88-r.
13. Shliakhy pidvyshchennia enerhoefektyvnosti budivel v krainakh YeS ta v Ukraini / A. M. Kariuk, O. B. Koshlatyi, T. V. Lvovska, V. A. Pashynskiy // Technology, engineering and science – 2018 : I mizhnar. nauk.-prakt. konf., London, 24-25.10 2018. – London : PoltNTU, 2018. – P. 19-21.
14. Barannik V.O. Enerhoefektyvnist rehioniv Ukrainy: problemy, otsinky ta naiavnyi stan / Rehionalnyi filial Natsionalnogo instytutu stratehichnykh doslidzhen u m. Dnipro. – 2017. – 26 p. – [Elektronnyi resurs]: – URL: <http://www.niss.gov.ua/content/articles/files/energoefekt-5cecc.pdf>
15. Demchenko V.V., Chupryna Kh.M., O.V. Nevmerzhytskyi O.V. Metody pidvyshchennia enerhoefektyvnosti budivli [Elektronnyi resurs]: – URL.: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp2017/paper/view/2664/2042>
16. Deshko V. I., Bilous I. U., Buiak N. A. (2019). Vplyv pereryvchastykh rezhymiv opalennia na dynamiku enerhopotreby ta umovy komfortnosti budivel iz riznym rivnem teplovoho zakhystu. Naukovi visti KPI: mizhnarodnyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal, 2019, № 4 (126).
17. Karpenko, V. O. "Rehuliuвання продуктивності вентиляційних установок за рахунок зміни частоти обертання електродвигуна " Матеріали науково-технічної конференції студентів та магістрантів Таврійського державного ахротехнологічного університету. Випуск КХІ. Том ІІ.-Мелітопол: ТДАТУ, 2012.-318 p. (2012).
18. Hubyna Y.A., Horshkov A.S. Enerhosberezhennya v zdaniakh pry utylyzatsiyi tepla vitiazhnogo vozdukhha. // Stroytelstvo unykalnikh zdaniy i sooruzheniy. 2015. № 4 (31). P. 209 - 219.
19. Xiao F, Wang S. Progress and methodologies of lifecycle commissioning of HVAC systems to enhance building sustainability. Renew Sustain Energy Rev 2009;13:1144–9.
20. Federal Energy Management Program (FEMP). Continuous Commissioning Guidebook for Federal Managers.2013. URL:<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.456.7173&rep=rep1&type=pdf>
21. Veremiichuk Y.A., Opryshko V.P., Prytyskach I.V., Yarmoliuk O.S. Optyimizatsiia funktsionuvannia intehrovanykh system enerhozabezpechennia spozhyvachiv. Kyiv, Vydavnychiy dim «Kyj», 2020. 186 p. ISBN 987-617-7177-12-7.
22. Veremiichuk, Y., Prytyskach, I., Yarmoliuk, O., Opryshko, V. Energy Hub Function Optimization Models During Ukrainian Energy Resources Market Liberalization. Power and Electrical Engineering. Vol.34, 2017, pp.49-52. ISSN 2256-0238. e-ISSN 2256-0246. Available from: doi:10.7250/pee.2017.009.
23. Yurii Veremiichuk, Ivan Prytyskach, Olena Yarmoliuk and Vitalii Opryshko "Energy sources selection for industrial enterprise combined power supply system" 2019 IEEE 6th International conference on energy smart systems. Kyiv, Ukraine.
24. Veremiichuk Y.A. Stepanenko V.A., Eksperymentalne doslidzhennia efektyvnosti heneratsii dakhovoi SES korpusu №22. KhII Naukovo-tekhnichna konferentsiia Instytutu enerhozbezpechennia ta enerhomenedzhmentu Enerhetyka. Ekolohiia. Liudyna 7-8.12. 2020. P. 144-150.
25. Stepanenko, V. A. Intehrovana systema enerhozabezpechennia iz zastosuvanniam ventyliatsiinykh system : mahisterska dys. : 141 Elektroenerhetyka, elektrotehnika ta elektromekhanika» / Stepanenko Vitalii Anatoliiovych. – Kyiv, 2020. – 108 p.

Надійшла 03.12.2020
Received 03.12.2020