

INTELLIGENT ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS IN BUILDINGS⁹

Eng. Nikolai Kutinchev, PhD Student

Department of Telecommunications,
University of Ruse "Angel Kanchev"
Tel.: +359 889 96 20 41
E-mail: nkutinchev@gmail.com

Prof. Georgi Hristov, PhD

Department of Telecommunications,
University of Ruse "Angel Kanchev"
Tel.: +359 82 888 663
E-mail: ghristov@uni-ruse.bg

Prof. Plamen Zahariev, PhD

Department of Telecommunications,
University of Ruse "Angel Kanchev"
Tel.: +359 82 888 663
E-mail: pzahariev@uni-ruse.bg

Abstract: This paper examines the role of intelligent energy management systems in buildings, which are becoming increasingly important due to rising energy costs and environmental concerns. Buildings account for 40 % of global energy consumption and 30 % of CO₂ emissions, highlighting the need for innovation in energy management. The paper explores technologies such as sensors for lighting, climate control, and electrical appliances, combined with optimization algorithms for energy efficiency. These systems provide automated solutions for monitoring and controlling energy use, reducing costs and emissions. Examples of smart buildings worldwide demonstrate the effectiveness of such systems in achieving sustainability. The research underscores the potential of intelligent systems to optimize energy consumption, improve comfort, and contribute to climate goals. The paper concludes with a focus on the need for ongoing technological development and user awareness to fully realize the benefits of these systems.

Keywords: Energy Management, Smart Buildings, Optimization Algorithms, Energy Efficiency, CO₂ Emissions.

ВЪВЕДЕНИЕ

Сградната индустрия претърпява значителни промени в последните години, като нарастването на енергийните разходи и осведомеността за опазване на околната среда налагат необходимостта от иновативни подходи за управление на енергията. В този контекст, интелигентните системи за управление на енергията в сградите играят ключова роля (Beaudin, M., & Zareipour, H., 2015). Според Доклада на Междуправителствената група за изменението на климата (IPCC, 2021), сградите създават около 40 % от световните енергийни разходи и излишък от 30 % от общите емисии на CO₂. Това говори за значителния принос на сградите към изменението на климата и необходимостта от иновативни подходи за намаляване на техните енергийни разходи.

Тази публикация се фокусира върху разработването и прилагането на такива системи, включително технологии като сензори за управление на осветлението, климатичните системи и електрическите уреди, както и алгоритми за оптимизация на консумацията на енергия.

⁹ Докладът е представен на 25 октомври 2024 г. в секция „Комуникационна и компютърна техника“ с оригинално заглавие на български език: ИНТЕЛИГЕНТНИ СИСТЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ЕНЕРГИЯТА В СГРАДИТЕ

ИЗЛОЖЕНИЕ

Необходимост от интелигентни системи за управление на енергията

Съвременните сгради се сблъскват със значителни предизвикателства, свързани с управлението на енергията. Неправилното управление може да доведе до излишни разходи, влошаване на комфорта на живеещите и нежелани екологични въздействия. В този контекст, интелигентните системи за управление на енергията предлагат цялостно и ефективно решение, като комбинират напредъка в сензорните технологии, обработката на данни и автоматизацията (Majdi, A., Dwijendra, N.K., Muda, I., Chetthamrongchai, P., Sivaraman, R., & Hammid, A.T., 2022).

Необходимостта от интелигентни системи за управление на енергията в сградите е от съществено значение в контекста на изменението на климата и нарастващите енергийни изисквания. Според Доклада на Междуправителствената група за изменението на климата (IPCC, 2021), сградите са отговорни за около 40 % от световните енергийни разходи и излишък от 30 % от общите емисии на CO₂. Този значителен принос към емисиите на парникови газове подчертава необходимостта от ефективно управление на енергията в сградите. Използването на интелигентни системи за управление на енергията може да допринесе за значително намаляване на енергийните разходи и емисиите на CO₂ (Mason, K., & Grijalva, S., 2019). Тези системи предлагат автоматизирани решения за мониторинг и контрол на енергийните процеси в сградите, което позволява по-ефективно използване на енергията и оптимизиране на енергийните ресурси (Mischos, S., Dalagdi, E., & Vrakas, D., 2023).

Интелигентните системи за управление на енергията могат да интегрират различни технологии, като сензори за мониторинг на консумацията на енергия, автоматизирани управляеми приставки за електрически уреди и алгоритми за оптимизация на енергийните процеси. Те позволяват на сградите да реагират динамично на променящите се условия и да адаптират консумацията на енергия спрямо реалните нужди на потребителите.

Интегрирането на интелигентни системи за управление на енергията не само намалява разходите за енергията, но и подобрява комфорта и производителността на сградите (Sardianos, C., Varlamis, I., Chronis, C., Dimitrakopoulos, G., Alsalemi, A., Himeur, Y., Bensaali, F., & Amira, A., 2021). Те позволяват на потребителите да контролират и оптимизират енергийните процеси в реално време, което допринася за създаване на удобни и енергийно ефективни работни и жилищни пространства (Saeed, M.A., Eladl, A.A., Alhasnawi, B.N., et al., 2023).

Така че, внедряването на интелигентни системи за управление на енергията в сградите е критично за постигане на енергийна ефективност и оптимизиране на експлоатацията на ресурсите в съответствие със заплашителните прогнози за изменението на климата.

Технологии за интелигентно управление на енергията

Технологиите за интелигентно управление на енергията в сградите играят решаваща роля за постигане на енергийна ефективност и оптимизация на енергийните процеси. Тези технологии включват различни компоненти, които работят синхронно, за да следят, контролират и оптимизират консумацията на енергия.

Един от ключовите компоненти на технологиите за интелигентно управление на енергията са сензорите. Сензорите се използват за непрекъснато наблюдение на околната среда в сградата, като измерват параметри като температура, влажност, осветеност и присъствие на хора. Тези данни се използват за адаптиране на енергийните системи спрямо реалните нужди и условия на потребителите.

Освен сензорите, друга важна технология за интелигентно управление на енергията са управляемите приставки за електрически уреди. Тези устройства се свързват към различни електрически уреди, като например климатични системи, осветление, електроуреди и други, и позволяват на потребителите да ги контролират и програмират, за да работят по-ефективно и икономично.

Друга иновативна технология за интелигентно управление на енергията е използването на интернет на нещата (IoT). През IoT, всички устройства в сградата могат да бъдат свързани към интернет и да комуникират помежду си, което позволява на потребителите да получават реално временна информация за консумацията на енергия и да контролират устройствата дистанционно чрез приложения и платформи за управление на енергията.

Тези технологии за интелигентно управление на енергията не само улесняват оптимизацията на консумацията на енергия, но и осигуряват по-голям комфорт и удобство за потребителите. Те позволяват на сградите да реагират динамично на променящите се условия и да адаптират енергийните си ресурси спрямо реалните нужди и предпочитания на потребителите.

В крайна сметка, интелигентните системи за управление на енергията съчетават различни технологии, за да осигурят по-ефективно използване на енергията и по-удобен начин за контрол и управление на енергийните процеси в сградите.

Сравнителен анализ на особеностите на различни интелигентни сгради

В тази част от публикацията са представени няколко популярни примера за умни сгради от различни части на света:

- **The Edge**, Амстердам, Нидерландия: The Edge, показана на Фиг. 1, е офис-сграда в Амстердам, която се смята за една от най-умните сгради в света. Тя използва различни технологии, като сензори, свързани устройства и смарт-системи за управление на енергията, осветлението и климата, за да намали разходите и да подобри работната среда на служителите (The Edge, 2024).
- **One Bryant Park**, Ню Йорк, САЩ: Тази висока сграда в Манхатън е изградена с високи стандарти за устойчивост и енергийна ефективност (Фиг. 2). Системите за управление на енергията и интелигентните технологии, включени в One Bryant Park, допринасят за значителни намаления на енергийните разходи (One Bryant Park, 2024).
- **Pearl River Tower**, Гуанчжоу, Китай: Тази сграда е проектирана да бъде една от най-умните и енергийно ефективни в света (Фиг. 3). Системите за управление на енергията в Pearl River Tower използват вятърни и слънчеви енергийни технологии, както и интелигентни системи за контрол на консумацията на енергия (Pearl River Tower, 2024).



Фиг. 1. The Edge,
Амстердам, Нидерландия



Фиг. 2. One Bryant Park,
Ню Йорк, САЩ



Фиг. 3. Pearl River Tower,
Гуанчжоу, Китай

- **The Crystal**, Лондон, Великобритания: The Crystal е умна сграда, която се фокусира върху устойчивостта и енергийната ефективност (Фиг. 4). Тя използва различни технологии за мониторинг и контрол на енергията, включително системи за управление на осветлението, отоплението и охлаждането (The Crystal, 2024).

- **Pixel**, Мелбърн, Австралия: Pixel е умна жилищна сграда, която интегрира различни технологии за управление на енергията и комуникацията (Фиг. 5). Тя включва системи за управление на отоплението, охлаждането и осветлението, които се контролират чрез мобилно приложение (Pixel, 2024).
- **The Crystal Island**, Москва, Русия: Проектът Crystal Island в Москва се стреми да създаде една от най-високите и иновативни умни сгради в света (Фиг. 6). Съчетаващ устойчиви технологии като слънчеви панели и системи за управление на енергията, този проект цели да намали енергийните разходи и емисиите на парникови газове (The Crystal Island, 2024).



Фиг. 4. The Crystal,
Лондон, Великобритания



Фиг. 5. Pixel,
Мелбърн, Австралия

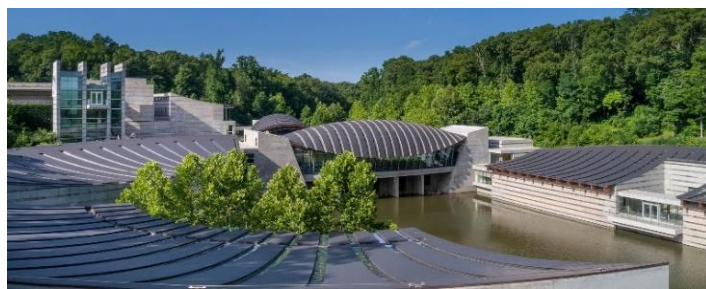


Фиг. 6. The Crystal Island,
Москва, Русия

- **Dharamsala Smart City Project**, Дарамсала, Индия: Проектът за умно градоустройство в Дарамсала, Индия, се стреми да трансформира града в устойчива и интелигентна среда (Фиг. 7). Чрез използване на умни технологии за управление на енергията и ресурсите, проектът има за цел да подобри качеството на живот и да намали въздействието върху околната среда (Dharamsala SCP, 2024).
- **The Crystal Bridges Museum of American Art**, Арканзас, САЩ: Този музей в Арканзас е изграден с високи стандарти за енергийна ефективност и устойчивост (Фиг. 8). Чрез използване на иновативни технологии като системи за рецикулация на въздуха и контрол на осветлението, музеят цели да намали енергийните разходи и да подобри вътрешната среда (The Crystal Bridges Museum of American Art, 2024).



Фиг. 7. Dharamsala Smart City
Project, Дарамсала, Индия



Фиг. 8. The Crystal Bridges Museum of American
Art, Арканзас, САЩ

Тези умни сгради от целия свят представляват водещите тенденции в областта на устойчивото строителство и интелигентните градски среди, подчертавайки значението на иновациите в управлението на енергията и ресурсите.

Алгоритми за оптимизация на консумацията на енергия

След краткия обзор на умните сгради от света, които представят водещите тенденции в областта на устойчивото строителство и интелигентните градски среди, е важно да се обърнем към конкретните методи за оптимизация на консумацията на енергия.

Освен събирането на данни от сензорите, интелигентните системи за управление на енергията използват и различни алгоритми за оптимизация на консумацията на енергия. Тези алгоритми анализират данните за консумацията на енергия и вземат решения за оптимизацията на управлението на сградата и играят ключова роля във функционирането

на интелигентните системи за управление на енергията. Така, след като разгледахме как умните сгради представят иновациите в устойчивото строителство, вече можем да се фокусираме върху алгоритмите, които правят възможно тяхната ефективна експлоатация и управление на енергията. Например, алгоритмите за предсказване на консумацията могат да предвидят пиковите товари и да регулират работата на съответните устройства, за да се избегнат излишни разходи.

Алгоритмите за оптимизация на консумацията на енергия са от съществено значение за ефективното функциониране на интелигентните системи за управление на енергията в сградите. Тези технологии включват различни компоненти, които работят синхронно, за да следят, контролират и оптимизират консумацията на енергия.

Един от основните видове алгоритми за оптимизация на консумацията на енергия е алгоритъмът за оптимално контролиране на натоварването (OLC). Този алгоритъм се използва за динамично управление на натоварването на електрическата мрежа, като се оптимизира разпределението на енергията спрямо времето и променливите цени на електроенергията.

Освен OLC, други алгоритми за оптимизация на консумацията на енергия включват генетични алгоритми, методи на изкуствен интелект, решения, базирани на машинно обучение и дори квантови алгоритми. Тези алгоритми се прилагат за анализ на големи обеми данни, прогнозиране на консумацията на енергия и автоматизирано управление на енергийните системи.

Използването на алгоритми за оптимизация на консумацията на енергия в интелигентните системи за управление на енергията допринася за постигане на значителни икономии на енергия и намаляване на емисиите на парникови газове. Тези алгоритми позволяват на сградите да реагират динамично на променящите се условия и да оптимизират консумацията си на енергия спрямо текущите потребности и външните фактори.

В крайна сметка, алгоритмите за оптимизация на консумацията на енергия играят ключова роля за функционирането на интелигентните системи за управление на енергията в сградите и за постигане на енергийна ефективност и устойчиво развитие.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интелигентните системи за управление на енергията в сградите представляват важен инструмент за оптимизация на енергийните разходи и подобряване на комфорта на живеещите. Разработването на подобни системи изисква интегриране на сензорни технологии, електроника и алгоритми за оптимизация, което представлява предизвикателство, но и отваря възможности за иновации в сградната индустрия.

Разработката и прилагането на интелигентни системи за управление на енергията в сградите представлява ключово решение за постигане на енергийна ефективност, оптимизация на ресурсите и намаляване на емисиите на парникови газове. Презентираните технологии и алгоритми за оптимизация на консумацията на енергия играят важна роля в този процес.

Използването на сензори, управляеми приставки за електрически уреди и алгоритми за оптимизация на консумацията на енергия позволява на сградите да реагират динамично на променящите се условия и да адаптират енергийните си ресурси спрямо реалните нужди и предпочитания на потребителите.

Интелигентните системи за управление на енергията не само допринасят за икономии на енергия и оптимизация на разходите, но и за подобряване на комфорта и качеството на живот в сградите. Те предоставят възможности за персонализирано и ефективно управление на енергийните процеси, което води до по-удобно и устойчиво съществуване.

С оглед на постигнатите резултати и нарастващата необходимост от устойчиво развитие е препоръчително активната интеграция на интелигентните системи за управление на енергията в сградите. Това изисква постоянно развитие на технологиите и алгоритмите,

както и усилия за обучение и осведоменост на потребителите относно ползите от тези иновации.

В заключение, разработката и приложението на интелигентни системи за управление на енергията са от ключово значение за постигане на устойчиво развитие и за подобряване на качеството на живот в сградите. Тези технологии не само спомагат за оптимизация на енергийните процеси, но и допринасят за удобство, комфорт и икономии за потребителите.

БЛАГОДАРНОСТИ

Тази публикация е реализирана с подкрепата на Проект 2024-ФЕЕА-03, финансиран от Фонд „Научни изследвания“ на Русенски университет „Ангел Кънчев“.

REFERENCES

Beaudin, M., & Zareipour, H. (2015). *Home Energy Management Systems: A Review of Modelling and Complexity*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 45. pp. 318-335, ISSN 1364-0321.

IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

Majdi, A., Dwijendra, N.K., Muda, I., Chetthamrongchai, P., Sivaraman, R., & Hammid, A.T. (2022). *A Smart Building with Integrated Energy Management: Steps toward the Creation of a Smart City*. Sustainable Energy Technologies and Assessments. vol. 53(C), ISSN 2213-1388.

Mason, K., & Grijalva, S. (2019). *A Review of Reinforcement Learning for Autonomous Building Energy Management*. Computers & Electrical Engineering. Vol. 78. 2019. pp 300-312, ISSN 0045-7906, DOI 10.1016/j.compeleceng.2019.07.019.

Mischos, S., Dalagdi, E., & Vrakas, D. (2023). *Intelligent Energy Management Systems: A Review*. Artificial Intelligence Review. vol. 56, pp. 11635-11674. DOI: 10.1007/s10462-023-10441-3.

Saeed, M.A., Eladl, A.A., Alhasnawi, B.N., et al. (2023). *Energy Management System in Smart Buildings-Based Coalition Game Theory with Fog Platform and Smart Meter Infrastructure*. Scientific Reports, vol. 13, DOI: 10.1038/s41598-023-29209-4.

Sardianos, C., Varlamis, I., Chronis, C., Dimitrakopoulos, G., Alsalemi, A., Himeur, Y., Bensaali, F., & Amira, A. (2021). *Reshaping Consumption Habits by Exploiting Energy-Related Micro-Moment Recommendations: A Case-Study*. Smart Cities, Green Technologies and Intelligent Transport Systems: 8th International Conference, SMARTGREENS 2019 and 5th International Conference, VEHITS 2019, Heraklion, Crete, Greece, Springer, pp. 65-84.

Dharamsala SCP. (2024). <https://www.tribuneindia.com/news/himachal/dharamsala-smart-city-projects-to-be-extended-to-merged-areas-439796> (Accessed on 30.11.2024).

One Bryant Park. (2024). <https://www.skyscrapercenter.com/building/bank-of-america-tower/291> (Accessed on 30.11.2024).

Pearl River Tower. (2024). <https://www.som.com/projects/pearl-river-tower/> (Accessed on 30.11.2024).

Pixel. (2024). <https://arceclima.es/the-pixel-building-with-green-heart/?lang=en> (Accessed on 30.11.2024).

The Crystal. (2024). <https://www.archdaily.com/275111/the-crystal-wilkinson-eyre-architects> (Accessed on 30.11.2024).

The Crystal Bridges Museum of American Art. (2024). <https://crystalbridges.org/> (Accessed on 30.11.2024).

The Crystal Island. (2024). <https://www.archweb.com/en/gallerie/crystal-island-en/>
(Accessed on 30.11.2024).

The Edge. (2024). https://edge.tech/developments/the-edge_ (Accessed on 30.11.2024).