

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-80-4>

УДК 004.9 : 004.78

АЛЕКСОВ Сергій

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-8764-675X>

e-mail: [aleksov1212@gmail.com](mailto:aleksov1212@gmail.com)

ГОВОРУЩЕНКО Тетяна

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-7942-1857>

e-mail: [hovorushchenko@khmnu.edu.ua](mailto:hovorushchenko@khmnu.edu.ua)

ВОЙЧУР Олег

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-8503-6464>

e-mail: [o.vojchur@gmail.com](mailto:o.vojchur@gmail.com)

ВОЙЧУР Юрій

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-3085-7315>

e-mail: [vojchury@khmnhu.edu.ua](mailto:vojchury@khmnhu.edu.ua)

## МЕТОД КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ У КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ ДІМ»

Наразі актуальною проблемою є забезпечення можливості розпізнавання ситуацій та підтримки прийняття рішень у кіберфізичній системі «Розумний дім». Проведене дослідження відомих методів показало, що: наявні рішення передбачають розпізнавання ситуацій та підтримку прийняття рішень лише, як правило, для однієї-двох підсистем кіберфізичної системи «Розумний дім», а також не передбачають можливості оцінювання достатності інформації для прийняття рішень у кіберфізичній системі «Розумний дім». Тому метою нашого загального дослідження є розпізнавання ситуацій та підтримка прийняття рішень для всіх п'яти підсистем кіберфізичної системи «Розумний дім» із оцінюванням достатності інформації для прийняття всіх рішень шляхом розроблення комплексної системи розпізнавання ситуацій та підтримки прийняття рішень у кіберфізичній системі «Розумний дім», а метою даного дослідження є розпізнавання ситуацій та підтримка прийняття рішень у підсистемі керування освітленням житла кіберфізичної системи «Розумний дім». Розроблений у статті метод керування освітленням у кіберфізичній системі «Розумний дім» дозволяє внести необхідні параметри для подальшого автоматичного функціонування підсистеми керування освітленням житла кіберфізичної системи «Розумний дім» у приміщеннях, а також забезпечує користувачу підсистеми можливість швидкого та зручного налаштування необхідного режиму освітлення. Крім цього, розроблений метод передбачає розпізнавання різних ситуацій у світловому сценарії (достатній світловий потік, недостатній світловий потік, надлишковий світловий потік – згідно із діючими нормами освітлення) та підтримку прийняття рішень щодо освітлення житла згідно із заданим користувачем режимом освітлення (відкриття/закриття засобів затінення, ввімкнення/вимкнення ламп – в залежності від розпізнаної ситуації).

Ключові слова: кіберфізична система, кіберфізична система «Розумний дім», підсистема керування освітленням житла, освітленість, світловий потік.

ALEKSOV Serhii, , HOVORUSHCHENKO Tetiana, VOICHUR Oleg, VOICHUR Yurii  
Khmelnitskyi National University

## METHOD OF LIGHTING CONTROL IN THE CYBER-PHYSICAL SYSTEM “SMART HOME”

Currently, an urgent problem is to ensure the possibility of situation recognition and decision support in the cyber-physical system "Smart Home". A study of known methods has shown that: existing solutions provide for situation recognition and decision support only, as a rule, for one or two subsystems of the cyber-physical system "Smart Home", and do not provide for the possibility of assessing the sufficiency of information for decision-making in the cyber-physical system "Smart Home". Therefore, the purpose of our general study is to recognize situations and support decision-making for all five subsystems of the cyber-physical system "Smart Home" with an assessment of the sufficiency of information for making all decisions by developing an integrated system for recognizing situations and supporting decision-making in the cyber-physical system "Smart Home", and the purpose of this study is to recognize situations and support decision-making in the subsystem of controlling the lighting of the dwelling of the cyber-physical system "Smart Home". The method of lighting control in the cyber-physical system "Smart Home" developed in this article allows to introduce the necessary parameters for the further automatic functioning of the subsystem of lighting control of the dwelling of the cyber-physical system "Smart Home" in the premises, and also provides the user of the subsystem with the ability to quickly and conveniently set the required lighting mode. In addition, the developed method provides for the recognition of various situations in the lighting scenario (sufficient luminous flux, insufficient luminous flux, excessive luminous flux - according to the current lighting standards) and support for decision-making on lighting in accordance with the lighting mode set by the user (opening/closing shading means, turning on/off lamps - depending on the recognized situation).

Keywords: cyber-physical system, cyber-physical system "Smart home", subsystem for controlling residential lighting, illumination, light flux.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Кіберфізична система «Розумний дім» – це сучасне житло, організоване з використанням високотехнологічних пристроїв, які інтегруються один з одним з мінімальними витратами фінансів та часу і утворюють інтелектуальну систему управління всіма інженерними мережами будинку з метою забезпечення комфортних умов проживання мешканців у приміщенні та суттєвого зменшення витрат енергоносіїв [1-3]. Така кіберфізична система демонструє прогресивну концепцію взаємодії людини з житлом, оскільки здійснює автоматизоване управління параметрами всіх інженерних систем відповідно до актуальних зовнішніх і внутрішніх умов, виконує численні операції за багатьма сценаріями [4]. Кіберфізична система «Розумний дім» повинна бути забезпечена інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом контролю і управління, щоб не потребувати від власників житла глибоких знань з комп'ютерної інженерії та програмування, а також повинна вміти розпізнавати ситуації (плановані або надзвичайні), і коректно реагувати на них (приймати коректні рішення в тій чи іншій ситуації) [5]. Наразі актуальною проблемою є забезпечення можливості розпізнавання ситуацій та підтримки прийняття рішень у кіберфізичній системі «Розумний дім».

Проведене у [6] дослідження в показало, що: наявні рішення передбачають розпізнавання ситуацій та підтримку прийняття рішень лише, як правило, для однієї-двох підсистем кіберфізичної системи «Розумний будинок». Тому метою нашого загального дослідження є розпізнавання ситуацій та підтримка прийняття рішень для всіх п'яти підсистем кіберфізичної системи «Розумний дім» із оцінюванням достатності інформації для прийняття всіх рішень шляхом розроблення комплексної системи розпізнавання ситуацій та підтримки прийняття рішень у кіберфізичній системі «Розумний дім», а метою даного дослідження є розпізнавання ситуацій та підтримка прийняття рішень у підсистемі керування освітленням житла кіберфізичної системи «Розумний дім».

## ПІДСИСТЕМА КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ ЖИТЛА КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ «РОЗУМНИЙ ДІМ»

Підсистема керування освітленням житла кіберфізичної системи «Розумний дім» здійснює керування наступними типами освітлення: природним (регулювання положення жалюзі та ролетів, механічне відкриття/закриття штор), штучним (регулювання яскравості і кількості освітлювальних приладів залежно від погодних умов, часу доби, виду діяльності мешканців у даний час), створюючи світлові сценарії, які передбачають оптимальне освітлення для тієї чи іншої ситуації.

Правильне освітлення є надзвичайно важливим, адже кількість світла може вплинути на атмосферу в приміщенні: створити настрій для роботи й активної мозкової діяльності чи, навпаки, налаштувати на релакс та сон. Навіть самопочуття залежить від рівня освітленості. Затишна атмосфера вдома чи добре освітлена робоча зона в офісі створюються за допомогою визначення коефіцієнту використання світлового потоку та правильного розрахунку освітлення приміщення. Саме на меті – створити якісні умови праці чи забезпечити затишок для релаксу – і варто сконцентрувати свою увагу перед тим, як перейти до організації освітлення приміщення.

Освітленість називається фізико-оптична величина, що характеризує відношення світлового потоку до площі поверхні, на яку він поширюється. Усереднені значення норми освітленості для різних типів приміщень: норма освітленості кухні – 150 люксів, вітальні – 450 люксів, дитячої кімнати – 200 люксів, кабінету – 300 люксів, ванної кімнати – 50-75 люксів. Освітленість визначається як відношення світлового потоку до освітлюваної площі.

Тоді світловий потік становиме добуток освітленості, освітлюваної площі та коефіцієнта висоти стелі. Відтак можна здійснити розрахунок нормального світлового потоку ( $\Phi$ ) для приміщень різних типів з різною висотою стель:

- для кухні: якщо висота стелі становить від 2,5 до 2,7 м, то нормальний світловий потік повинен становити  $150 \cdot S$  Лм (де  $S$  – площа приміщення); якщо висота стелі становить від 2,7 до 3 м, то нормальний світловий потік повинен становити  $180 \cdot S$  Лм; якщо висота стелі становить від 3 до 3,5 м, то нормальний світловий потік повинен становити  $225 \cdot S$  Лм; якщо висота стелі становить від 3,5 до 4,5 м, то нормальний світловий потік повинен становити  $300 \cdot S$  Лм;

- для вітальні: якщо висота стелі становить від 2,5 до 2,7 м, то нормальний світловий потік повинен становити  $450 \cdot S$  Лм (де  $S$  – площа приміщення); якщо висота стелі становить від 2,7 до 3 м, то нормальний світловий потік повинен становити  $540 \cdot S$  Лм; якщо висота стелі становить від 3 до 3,5 м, то нормальний світловий потік повинен становити  $675 \cdot S$  Лм; якщо висота стелі становить від 3,5 до 4,5 м, то нормальний світловий потік повинен становити  $900 \cdot S$  Лм;

- для дитячої кімнати, спальні: якщо висота стелі становить від 2,5 до 2,7 м, то нормальний світловий потік повинен становити  $200 \cdot S$  Лм (де  $S$  – площа приміщення); якщо висота стелі становить від 2,7 до 3 м, то нормальний світловий потік повинен становити  $240 \cdot S$  Лм; якщо висота стелі становить від 3 до 3,5 м, то нормальний світловий потік повинен становити  $300 \cdot S$  Лм; якщо висота стелі становить від 3,5 до 4,5 м, то нормальний світловий потік повинен становити  $400 \cdot S$  Лм;

- для робочого кабінету: якщо висота стелі становить від 2,5 до 2,7 м, то нормальний світловий потік повинен становити  $300 \cdot S$  Лм (де  $S$  – площа приміщення); якщо висота стелі становить від 2,7 до 3 м, то нормальний світловий потік повинен становити  $360 \cdot S$  Лм; якщо висота стелі становить від 3 до 3,5 м, то нормальний світловий потік повинен становити  $450 \cdot S$  Лм; якщо висота стелі становить від 3,5 до 4,5 м, то нормальний світловий потік повинен становити  $600 \cdot S$  Лм;

- для ванної кімнати, коридору: якщо висота стелі становить від 2,5 до 2,7 м, то нормальний світловий потік повинен становити  $75 \cdot S$  Лм (де  $S$  – площа приміщення); якщо висота стелі становить від 2,7 до 3 м, то нормальний світловий потік повинен становити  $90 \cdot S$  Лм; якщо висота стелі становить від 3 до 3,5 м, то нормальний світловий потік повинен становити  $112,5 \cdot S$  Лм; якщо висота стелі становить від 3,5 до 4,5 м, то нормальний світловий потік повинен становити  $150 \cdot S$  Лм.

Для підсистеми керування освітленням житла кіберфізичної системи «Розумний дім» метою (ціллю) розпізнавання ситуацій та прийняття рішень є забезпечення комфортних умов в залежності від виду діяльності користувача в даний момент часу (наприклад, створити якісні умови праці/активності чи забезпечити затишок для релаксу або сну). Засобами досягнення мети в даному випадку можуть бути жалюзі, ролети, штори, лампи освітлення. Якщо користувач обрав необхідний режим освітлення «активність», то підсистема керування освітленням житла кіберфізичної системи «Розумний дім» повинна забезпечити нормальне значення світлового потоку у приміщенні, зазначене вище. Якщо користувач обрав необхідний режим освітлення «релакс», то підсистема керування освітленням житла кіберфізичної системи «Розумний дім» повинна забезпечити половину нормального значення світлового потоку у приміщенні, зазначеного вище. Якщо користувач обрав необхідний режим освітлення «сон», то підсистема керування освітленням житла кіберфізичної системи «Розумний дім» повинна забезпечити відсутність світлового потоку у приміщенні.

#### **МЕТОД КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ У КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ ДІМ»**

Розробимо *правила для визначення достатності освітлення у приміщенні*:

- якщо тип приміщення «кухня» та висота стелі від 2,5 до 2,7 м та користувач обрав режим освітлення «активність» та світловий потік становить  $150 \cdot S$ , то наявного освітлення достатньо, інакше, якщо світловий потік становить більше  $150 \cdot S$ , то наявне надлишкове освітлення, інакше, якщо світловий потік становить менше  $150 \cdot S$ , то наявного освітлення недостатньо;

- якщо тип приміщення «кухня» та висота стелі від 2,5 до 2,7 м та користувач обрав режим освітлення «релакс» та світловий потік становить  $75 \cdot S$ , то наявного освітлення достатньо, інакше, якщо світловий потік становить більше  $75 \cdot S$ , то наявне надлишкове освітлення, інакше, якщо світловий потік становить менше  $75 \cdot S$ , то наявного освітлення недостатньо;

- якщо тип приміщення «кухня» та висота стелі від 2,7 до 3 м та користувач обрав режим освітлення «активність» та світловий потік становить  $180 \cdot S$ , то наявного освітлення достатньо, інакше, якщо світловий потік становить більше  $180 \cdot S$ , то наявне надлишкове освітлення, інакше, якщо світловий потік становить менше  $180 \cdot S$ , то наявного освітлення недостатньо;

- якщо тип приміщення «кухня» та висота стелі від 2,7 до 3 м та користувач обрав режим освітлення «релакс» та світловий потік становить  $90 \cdot S$ , то наявного освітлення достатньо, інакше, якщо світловий потік становить більше  $90 \cdot S$ , то наявне надлишкове освітлення, інакше, якщо світловий потік становить менше  $90 \cdot S$ , то наявного освітлення недостатньо;

- якщо тип приміщення «кухня» та висота стелі від 3 до 3,5 м та користувач обрав режим освітлення «активність» та світловий потік становить  $225 \cdot S$ , то наявного освітлення достатньо, інакше, якщо світловий потік становить більше  $225 \cdot S$ , то наявне надлишкове освітлення, інакше, якщо світловий потік становить менше  $225 \cdot S$ , то наявного освітлення недостатньо;

- якщо тип приміщення «кухня» та висота стелі від 3 до 3,5 м та користувач обрав режим освітлення «релакс» та світловий потік становить  $112,5 \cdot S$ , то наявного освітлення достатньо, інакше, якщо світловий потік становить більше  $112,5 \cdot S$ , то наявне надлишкове освітлення, інакше, якщо світловий потік становить менше  $112,5 \cdot S$ , то наявного освітлення недостатньо;

- якщо тип приміщення «кухня» та висота стелі від 3,5 до 4,5 м та користувач обрав режим освітлення «активність» та світловий потік становить  $300 \cdot S$ , то наявного освітлення достатньо, інакше, якщо світловий потік становить більше  $300 \cdot S$ , то наявне надлишкове освітлення, інакше, якщо світловий потік становить менше  $300 \cdot S$ , то наявного освітлення недостатньо;

- якщо тип приміщення «кухня» та висота стелі від 3,5 до 4,5 м та користувач обрав режим освітлення «релакс» та світловий потік становить  $150 \cdot S$ , то наявного освітлення достатньо, інакше, якщо світловий потік становить більше  $150 \cdot S$ , то наявне надлишкове освітлення, інакше, якщо світловий потік становить менше  $150 \cdot S$ , то наявного освітлення недостатньо;

- якщо тип приміщення «вітальня» та висота стелі від 2,5 до 2,7 м та користувач обрав режим освітлення «активність» та світловий потік становить  $450 \cdot S$ , то наявного освітлення достатньо, інакше, якщо світловий потік становить більше  $450 \cdot S$ , то наявне надлишкове освітлення, інакше, якщо світловий потік становить менше  $450 \cdot S$ , то наявного освітлення недостатньо;





- якщо тип приміщення «ванна кімната» або «коридор» та висота стелі від 3,5 до 4,5 м та користувач обрав режим освітлення «релакс» та світловий потік становить  $75 \cdot S$ , то наявного освітлення достатньо, інакше, якщо світловий потік становить більше  $75 \cdot S$ , то наявне надлишкове освітлення, інакше, якщо світловий потік становить менше  $75 \cdot S$ , то наявного освітлення недостатньо;

- якщо тип приміщення «кухня» або «вітальня» або «дитяча кімната» або «спальня» або «робочий кабінет» або «ванна кімната» або «коридор» та висота стелі від 2,5 до 2,7 м або від 2,7 до 3 м або від 3 до 3,5 м або від 3,5 до 4,5 м та користувач обрав режим освітлення «сон» та світловий потік становить більше 0, то наявне надлишкове освітлення, інакше, якщо світловий потік становить 0, то наявного освітлення достатньо.

Метод керування освітленням у кіберфізичній системі «Розумний дім» складається з таких кроків:

1) вибір користувачем розумного дому типу приміщення (кухня; вітальня; дитяча кімната/спальня; робочий кабінет; ванна кімната/коридор тощо);

2) вибір користувачем розумного дому інтервалу висоти стелі приміщення (2,5-2,7 м; 2,7-3 м; 3-3,5 м; 3,5-4,5 м);

3) введення користувачем розумного дому значення площі приміщення ( $u \text{ м}^2$ ) – введене значення присвоюється у змінну S;

4) вибір користувачем розумного дому наявних у приміщенні засобів затінення (жалюзі, ролети, штори; прийmemo, що використовується один із засобів затінення або не використовується жодного такого засобу);

5) вибір користувачем розумного дому типу використовуваних у приміщенні ламп (світлодіодні, енергозберігаючі, галогенні, лампи розжарювання);

6) вибір користувачем розумного дому стартового режиму освітлення приміщення (активність, релакс, сон) – користувач може змінити режим освітлення приміщення в будь-який момент часу;

7) вимірювання датчиками підсистеми керування освітленням житла кіберфізичної системи «Розумний дім» світлового потоку при наявному освітленні (для першої ітерації підсистема вимикає все штучне освітлення і вимірює світловий потік тільки для природного освітлення; вимірювання виконуються або кожні 5 хвилин, або одразу при зміні режиму освітлення користувачем);

8) пошук правила в множині правил для визначення достатності освітлення у приміщенні;

9) якщо згідно із підходящим правилом наявного освітлення достатньо, то підсистема керування освітленням житла кіберфізичної системи «Розумний дім» не виконує жодних дій;

10) якщо згідно із підходящим правилом наявного освітлення недостатньо, то підсистема керування освітленням житла кіберфізичної системи «Розумний дім» повинна виконати додавання світлового потоку (шляхом відкриття використовуваних засобів затінення та/або ввімкнення використовуваних у приміщенні ламп);

11) якщо згідно із підходящим правилом наявне надлишкове освітлення, то підсистема керування освітленням житла кіберфізичної системи «Розумний дім» повинна виконати зменшення світлового потоку (шляхом вимкнення використовуваних у приміщенні ламп та/або закриття використовуваних засобів затінення).

Розроблений метод керування освітленням у кіберфізичній системі «Розумний дім» забезпечує користувачу системи можливість швидкого та зручного налаштування необхідного режиму освітлення.

## ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

### І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

1) Наразі актуальною проблемою є забезпечення можливості розпізнавання ситуацій та підтримки прийняття рішень у кіберфізичній системі «Розумний дім».

2) Проведене дослідження відомих методів показало, що: наявні рішення передбачають розпізнавання ситуацій та підтримку прийняття рішень лише, як правило, для однієї-двох підсистем кіберфізичної системи «Розумний дім», а також не передбачають можливості оцінювання достатності інформації для прийняття рішень у кіберфізичній системі «Розумний дім».

3) Розроблений у статті метод керування освітленням у кіберфізичній системі «Розумний дім» дозволяє внести необхідні параметри для подальшого автоматичного функціонування підсистеми керування освітленням житла кіберфізичної системи «Розумний дім» у приміщеннях, а також забезпечує користувачу підсистеми можливість швидкого та зручного налаштування необхідного режиму освітлення. Крім цього, розроблений метод передбачає розпізнавання різних ситуацій у світловому сценарії (достатній світловий потік, недостатній світловий потік, надлишковий світловий потік – згідно із діючими нормами освітлення) та підтримку прийняття рішень щодо освітлення житла згідно із заданим користувачем режимом освітлення (відкриття/закриття засобів затінення, ввімкнення/вимкнення ламп – в залежності від розпізнаної ситуації).

### Література

1. Sung W.-T., Hsiao S.-J. Creating Smart House via IoT and Intelligent Computation. *Intelligent Automation & Soft Computing*. 2023. Vol. 35, no. 1. P. 415–430. URL: <https://doi.org/10.32604/iasc.2023.027618>.

2. Development of smart application for house condition survey / A. Hyder Chohan et al. *Ain Shams Engineering Journal*. 2022. Vol. 13, no. 3. P. 101628. URL: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.10.023>.
3. Nchena L. Smart House Assistive Technologies for Senior Citizens. *2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*, Ruzomberok, Slovakia, 26–28 September 2022. 2022. URL: <https://doi.org/10.1109/acit54803.2022.9913158>.
4. Barker S., Parsons D. Smart Homes or Real Homes: Building a Smarter Grid With “Dumb” Houses. *IEEE Pervasive Computing*. 2022. Vol. 21, no. 2. P. 100–104. URL: <https://doi.org/10.1109/mprv.2022.3160752>.
5. Smith N. Smart Bee Houses: Designing to Support Urban Pollination. *ACI'21: Eight International Conference on Animal-Computer Interaction*, Bloomington IN USA. New York, NY, USA, 2021. URL: <https://doi.org/10.1145/3493842.3493894>.
6. T. Hovorushchenko, S. Aleksov, E. Ishtvan, O. Voichur, P. Popov. Recognizing the Situations and Supporting the Decision-Making in the Residential Luminosity Control Subsystem of «Smart House» Cyber-Physical System. *CEUR-WS*. 2023. Vol. 3373. Pp. 566-588.

#### References

1. Sung W.-T., Hsiao S.-J. Creating Smart House via IoT and Intelligent Computation. *Intelligent Automation & Soft Computing*. 2023. Vol. 35, no. 1. P. 415–430.
2. Development of smart application for house condition survey / A. Hyder Chohan et al. *Ain Shams Engineering Journal*. 2022. Vol. 13, no. 3. P. 101628.
3. Nchena L. Smart House Assistive Technologies for Senior Citizens. *2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*, Ruzomberok, Slovakia, 26–28 September 2022. 2022.
4. Barker S., Parsons D. Smart Homes or Real Homes: Building a Smarter Grid With “Dumb” Houses. *IEEE Pervasive Computing*. 2022. Vol. 21, no. 2. P. 100–104.
5. Smith N. Smart Bee Houses: Designing to Support Urban Pollination. *ACI'21: Eight International Conference on Animal-Computer Interaction*, Bloomington IN USA. New York, NY, USA, 2021.
6. T. Hovorushchenko, S. Aleksov, E. Ishtvan, O. Voichur, P. Popov. Recognizing the Situations and Supporting the Decision-Making in the Residential Luminosity Control Subsystem of «Smart House» Cyber-Physical System. *CEUR-WS*. 2023. Vol. 3373. Pp. 566-588.