

АЛЕКСОВ СЕРГІЙ

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-8764-675X>e-mail: aleksov1212@gmail.com

ГОВОРУЩЕНКО ТЕТЯНА

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-7942-1857>e-mail: hovorushchenko@khmnu.edu.ua

ВОЙЧУР ЮРІЙ

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-3085-7315>e-mail: voichury@khmnu.edu.ua

БОЯРЧУК АРТЕМ

Таллінський технічний університет

<https://orcid.org/0000-0001-7349-1371>e-mail: a.boyarchuk@taltech.ee

МЕТОД КЕРУВАННЯ ВОЛОГІСТЮ В КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ «РОЗУМНИЙ ДІМ»

Найбільш важливим на сьогодні є забезпечення автоматичного керування «розумним будинком». «Розумний дім» – це комплекс рішень, що дають змогу автоматизувати повсякденні дії, позбавляючи власника від рутинних справ. «Розумний дім» – це не набір пристроїв, якими керують віддалено, це єдина система керування такими пристроями (екосистема), яка забезпечує конкретні переваги користувачу – наприклад, наочність контролю, зручність, економію сил і часу. Отже, кіберфізична екосистема «Розумний дім» має без участі людини виконувати певні дії у відповідь на конкретні ситуації. При цьому така кіберфізична система не повинна вимагати від мешканців глибоких знань з програмування та комп'ютерної інженерії, а також повинна вміти розпізнавати ситуації і приймати необхідні рішення в залежності від тієї чи іншої ситуації.

Відтак наразі актуальною задачею є забезпечення можливості автоматичної підтримки прийняття рішень у кіберфізичній системі «Розумний будинок».

Проведене дослідження відомих методів та засобів показало, що наявні рішення, як правило, не передбачають повністю автоматичного керування вологістю в «Розумному домі», а орієнтовані або на повністю кероване користувачем управління, або на автоматичне керування поруч із ручним керуванням (за допомогою мобільного застосунку, управління через Інтернет, тощо). Тому метою даного дослідження є підтримка прийняття рішень у підсистемі керування вологістю кіберфізичної системи «Розумний дім» з метою забезпечення повністю автоматичного керування такою підсистемою.

Розроблений метод керування вологістю в кіберфізичній системі «Розумний дім» дозволяє внести необхідні параметри для подальшого автоматичного функціонування підсистеми керування вологістю у житлових приміщеннях різного типу.

Розроблений метод керування вологістю в кіберфізичній системі «Розумний дім» забезпечує комфортну (з врахуванням будівельних та санітарно-гігієнічних норм) концентрацію вологи в повітряному середовищі відповідного житлового приміщення.

Ключові слова: кіберфізична система «Розумний дім», підсистема керування вологістю, абсолютна вологість повітря, відносна вологість повітря.

ALEKSOV SERHII, HOVORUSHCHENKO TETIANA, VOICHUR YURIY

Khmelnitskyi National University

BOYARCHUK ARTEM

TalTech University

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

The most important thing today is to ensure automatic control of a smart home. A “smart home” is a set of solutions that automate everyday activities, relieving the owner of routine tasks. A “smart home” is not a set of devices that are controlled remotely, but a unified system for managing such devices (an ecosystem) that provides specific benefits to the user, such as visibility of control, convenience, and saving time and effort. Thus, the cyber-physical ecosystem of a Smart home should perform certain actions in response to specific situations without human intervention. At the same time, such a cyber-physical system should not require deep knowledge of programming and computer engineering from residents, and should be able to recognize situations and make the necessary decisions depending on the situation.

Therefore, it is currently an urgent task to ensure the possibility of automatic decision support in the cyber-physical system “Smart Home”.

The study of known methods and tools has shown that existing solutions usually do not provide for fully automatic humidity control in a Smart Home, but are focused either on fully user-controlled control or automatic control along with manual control (using a mobile application, control via the Internet, etc.). Therefore, the purpose of this study is to support decision-making in the humidity control subsystem of the cyber-physical system “Smart Home” in order to ensure fully automatic control of such a subsystem.

The developed method of humidity control in the cyber-physical system “Smart Home” allows to introduce the necessary parameters for further automatic functioning of the humidity control subsystem in residential premises of various types.

The developed method of humidity control in the cyber-physical system “Smart Home” provides a comfortable (taking into account building and sanitary and hygienic standards) moisture concentration in the air environment of the corresponding dwelling.

Keywords: cyber-physical system “Smart home”, humidity control subsystem, absolute air humidity, relative air humidity.

Вступ

Кіберфізична система «Розумний дім» – це інноваційна технологія, яка об'єднує в собі різні пристрої та системи автоматизації, щоб забезпечити зручність і комфорт мешканців. В основі такої системи лежить збір та аналіз даних, які надходять від різних датчиків і пристроїв, встановлених у будинку. Ці дані використовуються для управління освітленням, опаленням, кондиціонуванням повітря, системою безпеки та іншими пристроями в будинку. Крім того, кіберфізичною системою можна керувати за допомогою мобільного застосунку, що дає змогу контролювати всі пристрої в будинку з будь-якого місця і в будь-який час [1]. Це система, яка об'єднує в собі ряд підсистем з метою забезпечення комфортних умов проживання у будинку [2]. Основна перевага «розумного будинку» полягає в тому, що він забезпечує комфорт, економію часу та енергії, а також підвищує безпеку та зручність життя власників [3]. Система «Розумний дім» повинна вміти розпізнавати ситуації у помешканні, і реагувати на них відповідно до заданої програми, причому одна з підсистем згідно із запрограмованим алгоритмом може керувати поведінкою інших [4]. В «розумному домі» мешканець обирає один із запрограмованих сценаріїв, а система управління задає параметри і відстежує режими роботи всіх інженерних систем відповідно до наявних зовнішніх і внутрішніх умов [5]. Управління функціями розумного будинку може здійснюватися різними способами [6]: за допомогою мобільного застосунку; голосове керування; пульт керування; управління через Інтернет; і, нарешті, автоматичне керування – функція, яка дає змогу керувати функціями розумного будинку автоматично, без участі користувача, відповідно до наявних умов.

Найбільш важливим на сьогодні є забезпечення автоматичного керування «розумним будинком». Звісно, багато речей, таких як керування освітленням та опаленням, клімат-контроль, тощо, користувачі звикли робити вручну, але на такі дрібниці йде занадто багато часу, і вони іноді відволікають від дійсно важливих справ. Проте «Розумний дім» – це комплекс рішень, що дають змогу автоматизувати повсякденні дії, позбавляючи власника від рутинних справ [7]. «Розумний дім» – це не набір пристроїв, якими керують віддалено, це єдина система керування такими пристроями (екосистема), яка забезпечує конкретні переваги користувачу – наприклад, наочність контролю, зручність, економію сил і часу. Тому при використанні кіберфізичної системи «Розумний дім», на перший план виходить концепція зробити його автоматизованим.

Отже, кіберфізична екосистема «Розумний дім» має без участі людини виконувати певні дії у відповідь на конкретні ситуації. При цьому така кіберфізична система не повинна вимагати від мешканців глибоких знань з програмування та комп'ютерної інженерії, а також повинна вміти розпізнавати ситуації і приймати необхідні рішення в залежності від тієї чи іншої ситуації [8]. Тоді, наразі актуальною задачею є забезпечення можливості автоматичної підтримки прийняття рішень у кіберфізичній системі «Розумний дім». Проведене у [9] дослідження відлмких методів та засобів показало, що наявні рішення, як правило, не передбачають повністю автоматичного керування вологістю в «Розумному домі», а орієнтовані або на повністю кероване користувачем управління, або на автоматичне керування поруч із ручним керуванням (за допомогою мобільного застосунку, управління через Інтернет, тощо). Тому метою даного дослідження є підтримка прийняття рішень у підсистемі керування вологістю кіберфізичної системи «Розумний дім» з метою забезпечення повністю автоматичного керування такою підсистемою.

Метод керування вологістю в кіберфізичній системі «Розумний дім»

Концентрація вологи в повітряному середовищі характеризується терміном – вологість повітря. Розрізняють абсолютну та відносну вологість. Під абсолютною вологістю розуміють масу водяної пари, яка містяться в одному кубічному метрі повітряних мас при певній температурі повітря. Під відносною вологістю повітря розуміють відношення масової частки водяної пари в повітрі до максимально можливої при даній температурі. Максимальною концентрацією вологи/вологістю вважається кількість водяної пари, що є в одиниці об'єму газу (повітря) до початку утворення конденсату (точки роси) при заданій температурі повітряного середовища.

Пересушене або перезволене повітря шкідливе для здоров'я людини, це призводить до порушення функцій систем дихання, обміну речовин, зниження імунітету та погіршення серцевої діяльності.

Згідно з будівельними та санітарно-гігієнічними нормами рівень відносної вологості для приміщень, де живуть люди, повинен перебувати в допустимих межах від 25 до 60%, в залежності від типу приміщення:

- для дитячої кімнати, спальні, кімнати, де живуть люди похилого віку, коридору – нормальною відносною вологістю повітря є 30-50%;
- для кімнати, де живе немовля – нормальною відносною вологістю повітря є 45-55%;
- для кухні, ванної кімнати, гардеробної – нормальною відносною вологістю повітря є до 40%;
- для робочого кабінету з комп'ютерами і офісною технікою – нормальною відносною вологістю повітря є 25-50%;
- для вітальні – нормальною відносною вологістю повітря є 25-60%.

Метою підсистеми керування вологістю є забезпечення комфортних умов у житлових приміщеннях різного типу з точки зору концентрації вологи в їх повітряному середовищі.

Розробимо *правила для визначення допустимості відносної вологості у приміщенні:*

- якщо тип приміщення «дитяча кімната» та відносна вологість становить від 30% до 50%, то відносна вологість повітря у приміщенні є нормальною, інакше, якщо відносна вологість становить більше 50%, то відносна вологість повітря у приміщенні є надлишковою, інакше, якщо відносна вологість становить менше 30%, то відносна вологість повітря у приміщенні є недостатньою;

- якщо тип приміщення «спальня» та відносна вологість становить від 30% до 50%, то відносна вологість повітря у приміщенні є нормальною, інакше, якщо відносна вологість становить більше 50%, то відносна вологість повітря у приміщенні є надлишковою, інакше, якщо відносна вологість становить менше 30%, то відносна вологість повітря у приміщенні є недостатньою;
- якщо тип приміщення «кімната, де живуть люди похилого віку» та відносна вологість становить від 30% до 50%, то відносна вологість повітря у приміщенні є нормальною, інакше, якщо відносна вологість становить більше 50%, то відносна вологість повітря у приміщенні є надлишковою, інакше, якщо відносна вологість становить менше 30%, то відносна вологість повітря у приміщенні є недостатньою;
- якщо тип приміщення «коридор» та відносна вологість становить від 30% до 50%, то відносна вологість повітря у приміщенні є нормальною, інакше, якщо відносна вологість становить більше 50%, то відносна вологість повітря у приміщенні є надлишковою, інакше, якщо відносна вологість становить менше 30%, то відносна вологість повітря у приміщенні є недостатньою;
- якщо тип приміщення «кімната, де живе немовля» та відносна вологість становить від 45% до 55%, то відносна вологість повітря у приміщенні є нормальною, інакше, якщо відносна вологість становить більше 55%, то відносна вологість повітря у приміщенні є надлишковою, інакше, якщо відносна вологість становить менше 45%, то відносна вологість повітря у приміщенні є недостатньою;
- якщо тип приміщення «кухня» та відносна вологість становить до 40%, то відносна вологість повітря у приміщенні є нормальною, інакше, якщо відносна вологість становить більше 40%, то відносна вологість повітря у приміщенні є надлишковою;
- якщо тип приміщення «ванна кімната» та відносна вологість становить до 40%, то відносна вологість повітря у приміщенні є нормальною, інакше, якщо відносна вологість становить більше 40%, то відносна вологість повітря у приміщенні є надлишковою;
- якщо тип приміщення «гардеробна» та відносна вологість становить до 40%, то відносна вологість повітря у приміщенні є нормальною, інакше, якщо відносна вологість становить більше 40%, то відносна вологість повітря у приміщенні є надлишковою;
- якщо тип приміщення «робочий кабінет» та відносна вологість становить від 25% до 50%, то відносна вологість повітря у приміщенні є нормальною, інакше, якщо відносна вологість становить більше 50%, то відносна вологість повітря у приміщенні є надлишковою, інакше, якщо відносна вологість становить менше 25%, то відносна вологість повітря у приміщенні є недостатньою;
- якщо тип приміщення «вітальня» та відносна вологість становить від 25% до 60%, то відносна вологість повітря у приміщенні є нормальною, інакше, якщо відносна вологість становить більше 60%, то відносна вологість повітря у приміщенні є надлишковою, інакше, якщо відносна вологість становить менше 25%, то відносна вологість повітря у приміщенні є недостатньою.

Метод керування вологістю в кіберфізичній системі «Розумний дім» складається з таких кроків:

- 1) вибір користувачем розумного дому типу приміщення (дитяча кімната/спальня/кімната людей похилого віку; кімната немовлят; кухня/ванна кімната/гардеробна; робочий кабінет; вітальня тощо);
- 2) вимірювання датчиком вологості (наприклад, DHT11) відносної вологості повітря у відповідному житловому приміщенні;
- 3) пошук правила в множині правил для визначення допустимості відносної вологості у приміщенні;
- 4) якщо згідно із підходящим правилом відносна вологість повітря у приміщенні є нормальною, то жодних додаткових дій виконувати не потрібно;
- 5) якщо згідно із підходящим правилом відносна вологість повітря у приміщенні є надлишковою, то підсистема керування вологістю повинна виконати осушення повітря, для чого вона вмикає осушувач повітря;
- 6) якщо згідно із підходящим правилом відносна вологість повітря у приміщенні є недостатньою, то підсистема керування вологістю повинна виконати зволоження повітря, для чого вона вмикає зволожувач повітря.

Розроблений метод керування вологістю в кіберфізичній системі «Розумний дім» забезпечує комфортну (з врахуванням будівельних та санітарно-гігієнічних норм) концентрацію вологи в повітряному середовищі відповідного житлового приміщення.

Висновки

Найбільш важливим на сьогодні є забезпечення автоматичного керування «розумним будинком». «Розумний дім» – це комплекс рішень, що дають змогу автоматизувати повсякденні дії, позбавляючи власника від рутинних справ. «Розумний дім» – це не набір пристроїв, якими керують віддалено, це єдина система керування такими пристроями (екосистема), яка забезпечує конкретні переваги користувачу – наприклад, наочність контролю, зручність, економію сил і часу. Отже, кіберфізична екосистема «Розумний дім» має без участі людини виконувати певні дії у відповідь на конкретні ситуації. При цьому така кіберфізична система не повинна вимагати від мешканців глибоких знань з програмування та комп'ютерної інженерії, а також повинна вміти розпізнавати ситуації і приймати необхідні рішення в залежності від тієї чи іншої ситуації.

Відтак наразі актуальною задачею є забезпечення можливості автоматичної підтримки прийняття рішень у кіберфізичній системі «Розумний будинок».

Проведене дослідження відомих методів та засобів показало, що наявні рішення, як правило, не передбачають повністю автоматичного керування вологістю в «Розумному домі», а орієнтовані або на повністю кероване користувачем управління, або на автоматичне керування поруч із ручним керуванням (за

допомогою мобільного застосунку, управління через Інтернет, тощо). Тому метою даного дослідження є підтримка прийняття рішень у підсистемі керування вологістю кіберфізичної системи «Розумний дім» з метою забезпечення повністю автоматичного керування такою підсистемою.

Розроблений метод керування вологістю в кіберфізичній системі «Розумний дім» дозволяє внести необхідні параметри для подальшого автоматичного функціонування підсистемі керування вологістю у житлових приміщеннях різного типу.

Розроблений метод керування вологістю в кіберфізичній системі «Розумний дім» забезпечує комфортну (з врахуванням будівельних та санітарно-гігієнічних норм) концентрацію вологи в повітряному середовищі відповідного житлового приміщення.

Література

1. Abedi S., Kwon S. Rolling-horizon optimization integrated with recurrent neural network-driven forecasting for residential battery energy storage operations. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2023. Vol. 145. P. 108589. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2022.108589>.
2. OTP-Based Smart Door Opening System / P. Srinivasan et al. *Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks*. Singapore, 2022. P. 87–98. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-19-1844-5_7.
3. Ayu Lestari R., Yusmaniar Oktawati U. Full state feedback and feed forward control of servo smart window using MATLAB/Simulink. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*. 2022. Vol. 28, no. 3. P. 1355. URL: <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v28.i3.pp1355-1362>.
4. Design and Implementation of Real-Time Kitchen Monitoring and Automation System Based on Internet of Things / C. A. U. Hassan et al. *Energies*. 2022. Vol. 15, no. 18. P. 6778. URL: <https://doi.org/10.3390/en15186778>.
5. Kumar T., Srinivasan R., Mani M. An Emery-based Approach to Evaluate the Effectiveness of Integrating IoT-based Sensing Systems into Smart Buildings. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2022. Vol. 52. P. 102225. URL: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102225>.
6. 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>.
7. Yaici W., Entchev E., Longo M. Internet of Things (IoT)-Based System for Smart Home Heating and Cooling Control. *2022 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2022 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, Prague, Czech Republic, 28 June – 1 July 2022. 2022. URL: <https://doi.org/10.1109/eeeic/icpseurope54979.2022.9854634>.
8. 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>.
9. Hovorushchenko T., Aleksov S., Boyarchuk A. Decision-Making Method for the Humidity Control Subsystem of the Cyber-Physical System “Smart House”. *2023 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, Athens, Greece, 13–15 October 2023. 2023. URL: <https://doi.org/10.1109/dessert61349.2023.10416435>.

References

1. Abedi S., Kwon S. Rolling-horizon optimization integrated with recurrent neural network-driven forecasting for residential battery energy storage operations. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2023. Vol. 145. P. 108589.
2. OTP-Based Smart Door Opening System / P. Srinivasan et al. *Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks*. Singapore, 2022. P. 87–98.
3. Ayu Lestari R., Yusmaniar Oktawati U. Full state feedback and feed forward control of servo smart window using MATLAB/Simulink. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*. 2022. Vol. 28, no. 3. P. 1355.
4. Design and Implementation of Real-Time Kitchen Monitoring and Automation System Based on Internet of Things / C. A. U. Hassan et al. *Energies*. 2022. Vol. 15, no. 18. P. 6778.
5. Kumar T., Srinivasan R., Mani M. An Emery-based Approach to Evaluate the Effectiveness of Integrating IoT-based Sensing Systems into Smart Buildings. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2022. Vol. 52. P. 102225.
6. 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.
7. Yaici W., Entchev E., Longo M. Internet of Things (IoT)-Based System for Smart Home Heating and Cooling Control. *2022 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2022 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, Prague, Czech Republic, 28 June – 1 July 2022. 2022.
8. 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.
9. Hovorushchenko T., Aleksov S., Boyarchuk A. Decision-Making Method for the Humidity Control Subsystem of the Cyber-Physical System “Smart House”. *2023 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, Athens, Greece, 13–15 October 2023. 2023.