

УДК 004.03

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗУМНОГО БУДИНКУ НА КОЛЕСАХ

А. В. Кірічніков

здобувач вищої освіти другого (магістерського) рівня спеціальності «Прикладна математика»,
навчально-науковий інститут кібернетики, інформаційних технологій та інженерії
Науковий керівник – к.ф.-м.н., доцент О. В. Прищеп

*Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне, Україна*

У статті розглядається розробка та дослідження розумного будинку на колесах. Проаналізовано основні параметри, що підлягають автоматизації, обчислено необхідні характеристики для вибору оптимального обігрівача та кондиціонера. Також розроблено функціональну схему автоматизації об'єкта та розглянуто використане обладнання. Для моделювання теплообміну в мобільному будинку на колесах застосовано ефективний метод на основі математичної моделі з диференціальними рівняннями першого порядку.

Ключові слова: температура, розумний будинок, автоматизована система.

The article deals with the development and research of a smart home on wheels. The paper analyses the main parameters to be automated, calculates the necessary characteristics for choosing the optimal heater and air conditioner. A functional diagram of the facility automation was also developed and the used equipment was considered. To model heat transfer in a mobile home on wheels, an effective method based on a mathematical model with first-order differential equations is applied.

Keywords: temperature, smart home, automated system.

Розробка інтелектуального мобільного житла набуває значної актуальності в наш час, враховуючи зростання зацікавленості у мобільних житлових рішеннях та концепції «житла на колесах». Цей підхід відповідає сучасним потребам суспільства у гнучкому та пересувному проживанні, що дозволяє людям перебувати та працювати у різних місцях, а також відкриває нові можливості для подорожей та відпочинку. Крім того, інтелектуальний мобільний будинок може забезпечити високий рівень комфорту, безпеки та енергоефективності завдяки застосуванню передових технологій автоматизації та Інтернету речей (IoT).

Головною метою дослідження є створення та впровадження автоматизованої системи управління обладнанням мікроклімату та освітленням у житлі на колесах. Основний фокус спрямований на досягнення ефективного енергозбереження шляхом оптимізації витрат та використання альтернативних джерел енергії. Зокрема, великою перевагою є використання сонячних панелей для забезпечення додаткової енергії та зменшення залежності від традиційних джерел. Також розглядаються методи ефективного управління освітленням та системами клімату, зокрема застосування технологій освітлення з регульованою потужністю та автоматичним регулюванням.

Наукова новизна полягає в розробці та впровадженні інноваційних рішень, що зроблять будинки на колесах більш ефективними в енергоспоживанні та забезпечать комфортний мікроклімат для мешканців. Це дослідження відповідає сучасним вимогам суспільства і може мати значну практичну цінність для будівництва енергоефективних та комфортних будинків на колесах.

Поняття «розумний будинок» виникло від англійського терміну «intelligent building». Внаслідок неправильного перекладу в німецькій мові це поняття отримало назву «розумний дім», що часто призводить до непорозумінь. Суть полягає у раціональному використанні будівельних систем, з акцентом на їхню інтерактивність.

Для керування та забезпечення комфортної температури в зразковому приміщенні автомобіля площею 14.37 м² [2, С. 85] розглянуто використання системи клімат-контролю, яка складається з кондиціонерів, конвекторів та вентиляції. Ця інтерактивна система наразі складається з кількох різних мереж, таких як електромережа, телефонна та телевізійна мережі. На цьому етапі відбувається процес з'єднання мереж, створення оптимального інтерфейсу між мережею і кінцевим пристроєм, і головне – інтерфейсу між людиною і машиною у вигляді графічного інтерфейсу, сенсорного екрану або просто голосової чи жестової ідентифікації.

Основні функції розумного будинку включають управління такими системами:

- інфраструктурою життєзабезпечення, такими як освітлення, опалення та мікроклімат;
- системами безпеки, такі як датчики руху, сигналізація, блокування вікон і дверей, імітація присутності, та сповіщення про аварії в будинку;
- побутовою технікою, наприклад телевізором, холодильником, чайником/кавоваркою, а також контроль та керування через Інтернет;
- енергетичними системами, що включають контроль альтернативних джерел енергії;
- системою обслуговування, яка забезпечує автоматичну перевірку працездатності приладів, повідомлення про несправності, та моніторинг і керування через Інтернет.

До запропонованих основних функцій автоматизованої системи управління процесами відповідного середовища можна віднести: контроль та регулювання температури в просторі приміщення «будинку на колесах», бойлері; контроль кількості рідини у баках з чистою та брудною водою;

Контроль та регулювання температури в просторі приміщення «будинку на колесах» та бойлері здійснюється за допомогою термостата або іншої системи автоматизації. Для простору приміщення «будинку на колесах» прийнято температурні межі в діапазоні від -10° С до +35° С. Контроль кількості рідини у баках з чистою та брудною водою виконується за допомогою системи автоматизації, що включає сенсори рівня рідини та відповідні контрольні механізми. Найбільш енергозатратним обладнанням на об'єкті є холодильник, мікрохвильова піч, бойлер, ноутбук, телевізор [2, С. 77].

Теплові надходження, що виникають через різницю температур між внутрішнім простором та зовнішнім повітрям, а також через сонячну радіацію Q_1 , обчислюються за допомогою наступної формули: $Q_1 = V \cdot q_{num}$, Вт, $V=14.37 \text{ м}^2 \cdot 2.72 \text{ м} = 39 \text{ м}^3$. Тоді середні теплові притоки для приміщень $Q_1=39 \cdot 35=1365$ Вт. Теплові притоки, зумовлені роботою оргтехніки Q_2 . Теплове постачання від обладнання залежать насамперед від споживаної потужності і частоти використання.

Загалом, впливаючи зі специфікації, величину теплових надходжень від електрообладнання можна обчислити відповідно до такої формули: $Q_2 = Q_{об} = N \cdot K_1 \cdot K_2$, Вт; $Q_{об}= 540 \cdot 200 \cdot 100=1.08\text{кВт}$ – середнє значення.

Теплові надходження від людей, які знаходяться в приміщенні, можуть бути розраховані за допомогою такої формули: $Q_3 = q \cdot n$, Вт, $Q_3= 120 \cdot 2= 240$ Вт – при 20 °С, де q – питомі теплові надходження від однієї людини, n – кількість людей в приміщенні. Сумарна кількість теплового постачання, Вт: $Q=1365+1080+240=2685$ Вт.

Під час дослідження були отримані дані, які свідчать про надмірне нагрівання простору приміщення під час теплих місяців. У холодний період використовується система опалення.

При цьому приймається, що температура внутрішнього повітря в квартирі під час зими становить 18 °С. Процес, який відбувається всередині приміщення взимку, можна описати показником $\epsilon=2532$ кДж/кг. За допомогою відносно точних даних про температуру та

показник ϵ , можна провести оцінку вологості внутрішнього повітря, вирішивши відповідну систему рівнянь [3, С. 34]:

$$\begin{cases} \epsilon = \frac{3.6 \cdot Q}{W} \\ 3.6 \cdot Q = G_H (i_B - i_K) \end{cases} \quad i_B = i_K + \frac{\epsilon \cdot W}{G_H},$$

де W – волога, виділена в приміщенні в зимній період, приймаємо: $W=400 \cdot 0,04=16$ кг/год,

G_H – мінімальна витрата навколишнього повітря, $G_H=9600$ кг/час; S – площа перерізу внутрішнього простору авто, $S=17.2$ м².

Ентальпію i_B знаходимо по i - d діаграмі: $i_B=19.14$ кДж/кг; $i_K=-19.27$ кДж/кг. Відповідно необхідна потужність обігрівача буде вираховуватися за формулою

$$N = G_H / S \cdot (i_B - i_K) / 3, \\ N=9600/17.2 \cdot (19.14 - (-19.27))/3=7230 \text{ Вт} = 7.2 \text{ кВт}.$$

У контексті реалізації концепції «розумного будинку на колесах», поза встановленою панеллю управління EC463 Control Panel, використано плату NODEMCU V3 з контролером ESP 8266 [1, С. 3]. Для забезпечення комфортних умов в об'єкті вибрано кондиціонер Treeligo 10500BTU Electric Car Split Air Conditioner 12V.

Після проведених розрахунків теплових навантажень, виявлено, що доцільніше встановити дизельний обігрівач компанії HCalogy потужністю 8кВт замість стандартного газового обігрівача потужністю 4 кВт. Для оптимізації ефективності та зручності електричної системи розглянуто заміну акумулятора ємністю 75 Ампер-годин на акумулятор ємністю 300 Ампер-годин від фірми LiitoKala з напругою 12 Вольт.

У системі також використовується давач температури DS18B20, що є цифровим термометром з інтерфейсом вимірювання 1-Wire, а також давач рівня води FS-IR02, інфрачервоним датчиком для виявлення рівня рідини в резервуарах та контейнерах. Діапазон вимірювань FS-IR02 становить від 0 до 100 см, що дозволяє точно визначати рівень рідини у різних системах водопостачання та водовідведення.

Система опалення «розумного будинку на колесах» в цьому дослідженні задає систему опалення та її ставлення до простору автомобіля. Це включає теплові характеристики будинку, нагрівача, термостат, зовнішнє та внутрішнє середовище. На рис. 1 представлено зразок моделі системи опалення в якій термостат регулярно контролює температуру в приміщенні автомобіля та вмикає або вимикає нагрівач, залежно від відмінності між встановленою температурою та кімнатною температурою [3, С. 44].

Рівень рівняння припливу теплоти. Температура повітря в нагрівачі підтримується на постійному рівні у T_{heater} , тоді як кімнатна температура позначена як T_{room} . Процес конвекції теплого повітря від нагрівача до кімнати характеризується теплоємністю c_{air} . Приплив теплоти для маси повітря в нагрівачі, $m_{heaterair}$, пропорційно перепаду температур між нагрівачем та внутрішнім простором «будинку на колесах»:

$$Q_{gain} = m_{heaterair} c_{air} (T_{heater} - T_{room}).$$

Для визначення рівня теплового посилення від нагрівача за час t :

$$\frac{dQ_{gain}}{dt} = \frac{m_{heaterair}}{dt} c_{air} (T_{heater} - T_{room}).$$

Вентилятор розганяє повітря в приміщенні та передає його через нагрівач і назад у кімнату. Постійна сума повітря, $M_{heaterair}$, потоки через нагрівач в одиницю часу, та замінний $dm_{heaterair}/dt$ з тією константою спрощує рівняння до

$$\frac{dQ_{gain}}{dt} = M_{heaterair} c_{air} (T_{heater} - T_{room}).$$

Теплова енергетична втрата від кімнати провідністю через стіни та вікна, і пропорційна перепаду температур між кімнатною та зовнішньою температурами:

$$Q_{loss} = \frac{kA(T_{room} - T_{outside})t}{D}.$$

Рівень теплової енергетичної втрати

$$\frac{dQ_{loss}}{dt} = \frac{kA(T_{room} - T_{outside})}{D}$$

Замінюємо kA/D з $1/R$, де R тепловий опір, спрощуємо рівняння до

$$\frac{dQ_{loss}}{dt} = \frac{(T_{room} - T_{outside})}{R}$$

Рівняння температури приміщення. Задаємо рівень зміни температури в кімнаті шляхом віднімання рівня втрати тепла від рівня припливу тепла:

$$\frac{dT_{room}}{dt} = \frac{1}{m_{room} + m_{air} c_{air}} \left(\frac{dQ_{gain}}{dt} - \frac{dQ_{loss}}{dt} \right)$$

З допомогою інструменту Linear Analysis Tool в середовищі MatLab Simulink визначаємо показники якості перехідного процесу нагрівання (рис. 2).

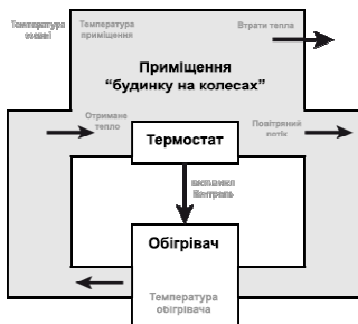


Рис. 1. Модель системи опалення «будинку на колесах», яка включає три компоненти: нагрівач, термостат та приміщення «будинку на колесах»

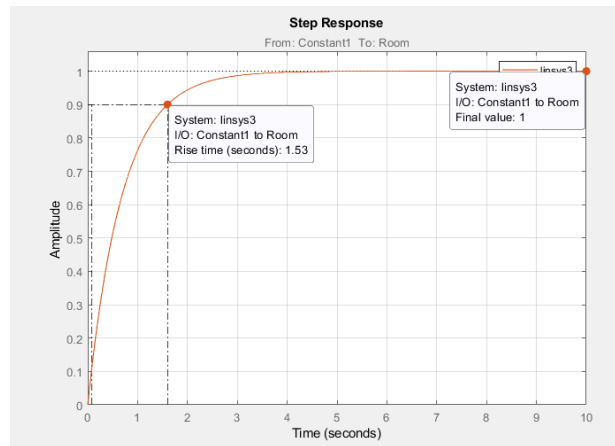


Рис. 2. Лінійний аналіз системи з ПІ регулятором

Відповідно отримані наступні якості перехідного процесу протягом 10 годин: час запізнення $\tau = 0$; час регулювання $t_{reg} = 1$ година 32 хвилини; величина перерегулювання $\sigma = (h_{max} - h_{уст}) / h_{уст} * 100\% = 0\%$; динамічна (усталена) похибка $\delta_{уст} = (h_{уст} - 1) * 100\% = 1 - 1 = 0$; коливальність n відсутня.

Проаналізувавши показники якості перехідного процесу проектованої САР, в котрій використали ПІ регулятор, робимо висновки, що система є стійкою, без перерегулювання та з прийнятним часом регулювання.

Основними функціями «розумного будинку на колесах» є управління інфраструктурою життєзабезпечення, системою безпеки, побутовою технікою, системою обслуговування. При дослідженні було визначено кількість теплових надходжень у приміщення, що являє собою житловий фургон автомобіля загальною площею 14.37 м², рекомендоване встановлення одного кондиціонера та заміна обігрівача на потужніший варіант. Розроблено функціональну схему автоматизації об'єкта та розглянуто обладнання, на якому ґрунтується система. Розроблено ефективний метод моделювання теплообміну, яка дозволяє визначати геометрію будинку, теплові властивості матеріалів та характеристики нагрівача, забезпечуючи можливість регулювання температури та оптимізації споживання енергії.

1. ESP8266 Technical Reference V.1.7. 117 с. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp8266-technical_reference_en.pdf (дата звернення: 02.03.2024).
2. SWIFT GROUP OWNER'S HANDBOOK. 2022. 134 с. URL: <https://www.swiftgroup.co.uk/media/25kodcw1/2022-caravan-owners-handbook.pdf> (дата звернення: 02.03.2024).
3. Галай В. М. Теорія оптимальних систем автоматичного керування технологічними процесами : навч. посіб. для студ. вищ. техн. навч. закл. Полтава : ПНТУ, 2009. 153 с.