

СЕНСОРИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

SENSORS AND INFORMATION SYSTEMS

УДК 004.8

DOI 10.18524/1815-7459.2018.3.142045

ОБРОБКА ДАНИХ СИСТЕМИ ЦИФРОВИХ СЕНСОРІВ ТЕМПЕРАТУРИ З МЕТОЮ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОВИТРАТ «РОЗУМНОГО» БУДИНКУ

Л. С. Монастирський, Я. В. Бойко, О. І. Петришин, В. М. Лозинський

Кафедра радіоелектронних і комп'ютерних систем, факультет електроніки та комп'ютерних технологій, Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Драгоманова, 50, м. Львів,
oleg.lpml@gmail.com

ОБРОБКА ДАНИХ СИСТЕМИ ЦИФРОВИХ СЕНСОРІВ ТЕМПЕРАТУРИ З МЕТОЮ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОВИТРАТ «РОЗУМНОГО» БУДИНКУ

Л. С. Монастирський, Я. В. Бойко, О. І. Петришин, В. М. Лозинський

Анотація. На основі оптимізаційної обробки даних системи цифрових сенсорів температури з метою зменшення енерговитрат «розумного» будинку запропоновано просту модель енергоощадного замського будиночка. Модель базується на чисельній оптимізації режимів його функціонування. Розглянуто систему з одним тепловим джерелом (нагрівачем) зі змінною потужністю та з моніторингом зовнішньої та внутрішньої температури в будиночку в часі. Враховано денний та нічний тарифи оплати за електроенергію. На основі цих даних із застосуванням пакету Python розраховано часові діаграми оптимального за оплатою та комфортом нагріву замського будиночка для режимів відсутності мешканців та для режиму їх постійного проживання. Приведено код програми розрахунку.

Ключові слова: «розумний» будинок, енергоменеджмент, математична оптимізація

DATA PROCESSING SYSTEM OF DIGITAL TEMPERATURE SENSORS IN ORDER TO OPTIMIZE ENERGY COSTS OF SMART HOME

L. Monastyrskii, Ya. Boyko, O. Petryshyn, V. Lozynskii

Abstract. The aim of this work is the development of heat regime management of smart home, which satisfies conditions of comfort and economy. The investigation deals with the problem of minimization of payment of consumed energy for heating of smart home. Saving is possible due to the different power supply tariffs. Cheaper payment was implemented with the use of optimization time diagram of discrete inclusion of heater in different cost of energy tariffs. It was installed values of minimum E_{min} and maximum E_{max} energy possible for house in condition of permanent inclusion of heater. Time step of introduced energy was equal to one hour.

The model of smart house represents system of linear algebraic equations, solution of such give set possible chart options of discrete inclusions of heater. From a set of option was selected the case that answers minimum of payment of heating. It was created the calculation program by Python with using library Pyomo.

The code of program is given in the appendix.

Keywords: smart house, energy management, mathematical optimization

ОБРАБОТКА ДАННЫХ СИСТЕМЫ ЦИФРОВЫХ СЕНСОРОВ ТЕМПЕРАТУРЫ С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОЗАТРАТ «УМНОГО» ДОМА

Л. С. Монастырский, Я. В. Бойко, О. И. Петришин, В. М. Лозинский

Аннотация. На основе оптимизационной обработки данных системы цифровых сенсоров температуры с целью уменьшения энергозатрат «умного» дома предложено простую модель энергосберегающего загородного дома. Модель базируется на численной оптимизации режимов его функционирования. Рассмотрена система с одним тепловым источником (нагревателем) с переменной мощностью и мониторингом внешней и внутренней температуры в домике во времени. Учтены дневной и ночной тарифы оплаты за электроэнергию. На основе этих данных с применением пакета Pyomo рассчитаны временные диаграммы оптимального по оплате и комфорту нагрева загородного дома для режимов отсутствия жителей и для режима их постоянного проживания. Приведен код программы расчета.

Ключевые слова: "умный" дом, энергоменеджмент, математическая оптимизация

Економити електроенергію сьогодні стає дедалі необхіднішою тенденцією, яка допомагає захистити довкілля та заощадити кошти. В останні роки людям вдалося істотно зменшити рівень споживання енергії та ресурсів побутовими приладами [1,2]. Виявляється, що 50% ресурсів спожитих в приватних домогосподарствах припадають на побутові прилади. Якби всі будинки були устатковані сучасними водо- та енергозберігаючими приладами, можна було б зекономити значну частину електроенергії. Тому інженери компаній працюють над розробкою нових енергозберігаючих технологій в побутових приладах, зменшуючи при цьому негативний екологічний вплив і не заощаджуючи на комфорті.

Важливою функцією менеджменту енергетичної системи «розумного» будинку є її оптимізація. Результати оптимізації дають можливість забезпечити одночасно як комфортні умови проживання людей так і мінімізувати грошові кошти, що витрачаються на енергозабезпечення «розумного» будинку. Сучасні «розумні» будинки можуть проводити енергетичний менеджмент в режимі реального часу при умові застосування адекватних математичних моделей та їх розрахунків, тобто розв'язку задач оптимізації як по зоні температурного комфорту, так і по мінімізації грошових витрат.

Запропонована нами модель передбачає наявність одного нагрівника з регульованою потужністю ($q_{min} \div q_{max}$) з двома тарифами на оплату, нічним і денним, які відрізняються в 2 рази.

Передбачається створення комфортних умов в будинку ($T_1 = T_{min1} \div T_{max1}$) при присутності людей, та $T_2 = (T_{min2} \div T_{max2})$ при відсутності людей в будинку. Передбачено врахування добових змін зовнішньої температури, які задаються щогодини. В роботі враховують тепловтрати, які пропорційні площі конструкції, різниці температур між внутрішнім і зовнішнім повітрям, а також залежність теплових властивостей об'єму повітря і стін, стелі та підлоги будинку: $q_k = q_b - q_g$, де q_b – потужність нагріву батареї, q_k – потужність, що залишилася в кімнаті, q_g

– втрати. Енерговтрати $q_g = S \Delta T/R$, де S – площа конструкції, ΔT – різниця температур всередині та ззовні будинку, R – тепловий опір конструкції.

Виходячи з умов теплового балансу можна розрахувати діаграму нагріву батареї ($q(t)$) при якій забезпечуються задані (комфортні) температурні умови і одночасно оптимізуються (мінімізуються за оплатою) витрати на опалення в умовах активного проживання (1) та відсутності людей в будинку (2). Зовнішні добові температури змінювались від -25°C до $+3^\circ\text{C}$ тепла (рис.1в). Температури змінювались в діапазонах $T_1 = 20 \div 22,5^\circ\text{C}$, $T_2 = 8 \div 10^\circ\text{C}$, відповідно, для робочого та чергового режимів опалення будинку.

Зокрема, в робочому режимі будинку для забезпечення передбачених умов батарея була включена на потужність ~ 20 Вт з 6 до 7 год ранку (Рис. 1а). Тож всередині будинку з 0 до 7 год. температура незначно опуститься, а з 7 до 8 год. підніметься до T_{max} ($22,5^\circ\text{C}$), а далі плавно опуститься до T_{min} (20°C) (рис. 1б).

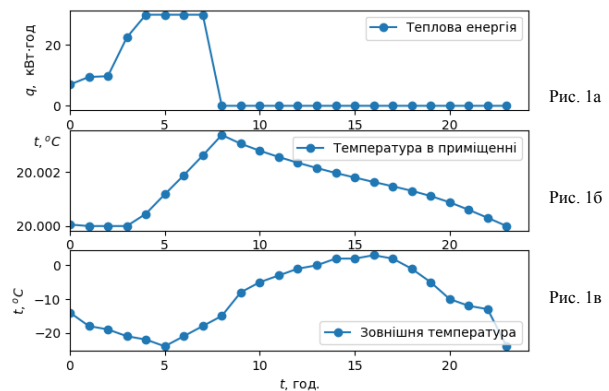


Рис. 1а. Часова діаграма потужності q_b нагрівального елемента в умовах постійного проживання людей.

Рис. 1б. Часовий розподіл температури в будинку, $^\circ\text{C}$.

Рис. 1в. Погодинна температура зовнішнього середовища «розумного» будинку в робочому режимі, $^\circ\text{C}$.

Розрахунки для умов чергового режиму функціонування «розумного» будинку ($8 \div 10^\circ\text{C}$) показали необхідність включення батареї на потужність 12 Вт з 0 до 7 год.,

(при цьому температура в домі росте з $8,0$ до $8,25^{\circ}\text{C}$), а далі - виключення батареї до 21 год. і включення на невелику (2 Вт) потужність на 1 год. о 23 год., щоб температура в домі не впала нижче 8°C (рис. 2а).

При малих значеннях теплопровідності K ($\sim 0,05$) температура в будинку з часом повільно падає і щоб зменшити темп її падіння в інтервалі 6–7 год. ранку включається нагрів, який і забезпечує в будинку температуру, близьку до 8°C до 24 год.

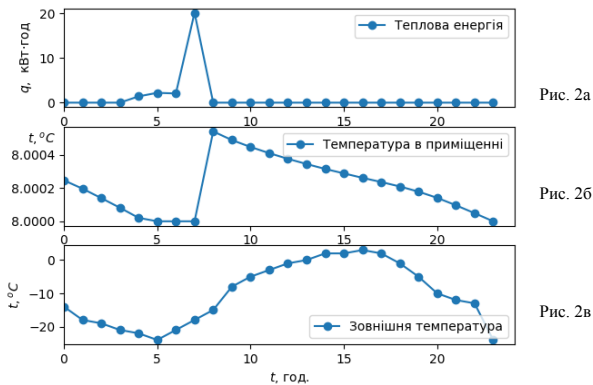


Рис.2а. Розрахунок часової залежності потужності нагріву q_6 «розумного» будинку для чергового режиму функціонування.

Рис. 2б. Розподіл температури всередині будинку в умовах чергового режиму, $^{\circ}\text{C}$.

Рис. 2в. Погодинна температура зовнішнього середовища «розумного» будинку $^{\circ}\text{C}$.

При великих значеннях теплопровідності стін K ($\sim 0,5$) температура в будинку з 0 до 9 год. росте в околі 8°C , а далі до 24 год. повертається до рівня 8°C . Якщо темп падіння температури зашвидкий, то включається невеликий додатковий нагрів в останні години (рис.3).

Таким чином, при кращому утепленні стін і зменшенні втрат тепла через зовнішні конструкції будинку в умовах меншої їх теплопровідності, тривалість включення нагріву є меншою, ніж в протилежному випадку.

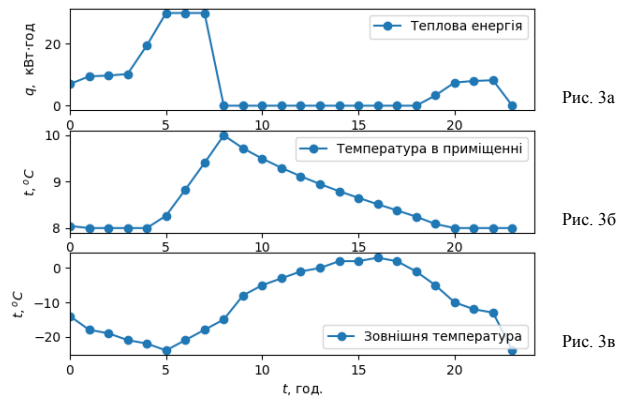


Рис. 3а. Діаграма потужності нагрівника q_6 при високій теплопровідності стін ($K=0,5$).

Рис. 3б. Температурна діаграма всередині «розумного» будинку при високій теплопровідності стін ($K = 0,5$).

Рис. 3в. Погодинна температура зовнішнього середовища «розумного» будинку $^{\circ}\text{C}$.

Висновки

На основі оптимізаційної обробки даних системи цифрових сенсорів температури з метою оптимізації енерговитрат «розумного» будинку запропонована проста модель здешевлення енергозатрат «розумного» будинку, який може працювати як в «робочому» режимі так і в «черговому» режимах (при відсутності людей). Таке функціонування характерне для замських будинків в умовах робочих днів (черговий режим) та святкових (вихідних) днів – робочий режим.

Модель враховує добові зміни зовнішніх температур, а також подвійний тариф на оплату електроенергії. Оптимізовані часові розподіли введеної потужності та температури в будинку при умові мінімальної оплати за електроенергію.

Показано вплив зовнішніх температур та теплофізичних параметрів конструкцій будинку на тепловий баланс, зокрема величин теплоємності та теплопровідності елементів конструкцій «розумного» будинку. При проектуванні реальних систем енергоощаднос-

ті заміського будиночка можна застосувати мікрокомп'ютер типу Raspberry Pi, а також мікроконтролери Arduino, цифрові датчики температури та вологості, радіочастотні модулі зв'язку.

Список використаної літератури

[1]. A. R. Boynuegri, B. Yagciterin, M. Bay-sal. Energy Management Algorithm for Smart House wint Renewable Energy Sources.4 th Internanational Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives., pp.1753-1758, Istambul, 2013.

[2]. Pipattanasomporn M., Kuzlu M., Rahman S. An Algorithm for Intelligent Home Energy Management and Demand Response Analysis, Smart Grid, IEEE Transactions on, vol.3, no.4, pp.2166 - 2173, Dec. 2012.

Стаття надійшла до редакції 15.05.2018 р.

Додаток

```

# One
import math as m
from pyomo.environ import *

import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

model = ConcreteModel(name="One")

opt = SolverFactory('glpk')
#opt = SolverFactory('ipopt')
#opt.options['max_iter'] = 10000

#cva =1.23 # kJ/m^3 K
#Va = 50
#cvb = 1.34e3
#Vb = 10.0
#C = cva*Va + cvb*Vb

#k = 0.56 # W/mK
#l = 0.5
#K = k*l
    
```

```

cva = 1.23 # kJ/m^3 K
Va = 150
cvb = 1.34e3
Vb = 20.0
C = cva*Va + cvb*Vb

k = 0.1 # W/mK
l = 0.5
K = k*l

model.t = [i for i in range(24)]

model.P = [1,1,1,1,1,1,1,1,1,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,1]
#model.P = dict(zip(model.t, p))

# 0 1 2 3 4 5
6 7 8 9 10 11 12 13 14
15 16 17 18 19 20 21 22 23
#Text = [-1, -2, -4, -4, -5,
-5, -6, -4, -3, -1, 0, 3, 8,
10, 22, 25, 26, 20, 17, 15, 10,
5, 3, 2]
#Text = [-1, -2, -4, -4, -5,
-5, -6, -4, -3, -1, 0, 3, 8,
10, 12, 12, 13, 12, 10, 9, 0, 2,
2, 1]
Text = [-14, -18, -19, -21,
-22, -24, -21, -18, -15, -8, -5,
-3, -1, 0, 2, 2, 3, 2, -1, -5,
-10, -12, -13, -24]

Tmin =20.0
Tmax =22.5
qmax = 30
Tbeg =20.0
qbeg = 10.0

model.q = Var(model.t, initialize=qbeg, bounds = (0.0,qmax))
model.T = Var(model.t, initialize=Tbeg, bounds = (Tmin, Tmax))

def obj_rule(model):
    return
    
```

```

sum([model.P[i]*model.q[i] for i
in model.t])

model.o = Objective(rule=obj_
rule, sense=minimize)

eps = 1e-6
def cntrl(model, i):
    if i!=0:
        return (C*(model.T[i]
- model.T[i-1]) == (model.q[i-1]
+ K*(Text[i-1] - model.T[i-1])))
    else:
        return (C*(model.T[i] -
Tbeg) == (model.q[0] + K*(Text[i]
- Tbeg)))

def cntrn(model, i):
    if i!=0:
        return abs( C*(model.T[i]
- model.T[i-1]) - (model.q[i-1]
+ K*(Text[i-1] - model.T[i-1])))
<=eps
    else:
        return abs( C*(model.T[i]
- Tbeg) - (qbeg + K*(Text[i] -
Tbeg))) <=eps

def cntr(model, i):
    if i!=0:
        dif = C*(model.T[i] -
model.T[i-1]) - (model.q[i-1] +
K*(Text[i-1] - model.T[i-1]))
        else:
            dif = C*(model.T[i]
- Tbeg) - (qbeg + K*(Text[i] -
Tbeg))
        if dif >= 0.0:
            return dif <= eps
        else:
            return -dif <= eps

    #return C*(model.T[i] -
model.T[i-1]) == model.q[i-1] +
K*(Text[i-1] - model.T[i-1])
    #a[i] * model.y[i] >= b[i]
    model.constr
Constraint(model.t, rule=cntr)
#####
#####
#####
results = opt.solve(model,
tee=True)
results.write()
model.solutions.load_
from(results)

tml = []
ql = []
Tl = []

for v in model.component_
objects(Var, active=True):
    print ("Variable",v)
    #print (type(v))
    varobject = getattr(model,
str(v))
    for index in varobject:
        if str(v) == 'q':
            tml.append(index)
            ql.append(varobject[index].
value)
        else:
            Tl.append(varobject[index].
value)
            print (" ",index,
varobject[index].value)

print(tml, ql, Tl)

ta = np.array(tml)
qa = np.array(ql)
Ta = np.array(Tl)

fig = plt.figure()

plt.subplot(3, 1, 1)
plt.plot(ta, qa, '-o')

plt.subplot(3, 1, 2)
plt.plot(ta, Ta, '-o')

plt.subplot(3, 1, 3)
plt.plot(ta, np.array(Text),
'-o')

fig.savefig('t3.png')

```

UDC 004.8

DOI 10.18524/1815-7459.2018.3.142045

DATA PROCESSING SYSTEM OF DIGITAL TEMPERATURE SENSORS IN ORDER TO OPTIMIZE ENERGY COSTS OF SMART HOME

L. Monastyrskii, Ya. Boyko, O. Petryshyn, V. Lozynskii

Chair of Radioelectronic and Computer Systems,
Department of Electronics and Computer Technologies,
Ivan Franko National University of Lviv
50 Dragomanova Str., Lviv 79005, Ukraine
oleg.lpml@gmail.com

Summary

The purpose of the work was to create a mathematical model of energy management of the «smart» house and to optimize the calculation of such a model based on experimental data arrays of digital temperature sensors both inside and outside the house. The initial conditions should ensure comfortable conditions in the house (the temperature does not exceed the specified interval) minimize payment for the consumed electricity, taking into account the existence of daily and night rates. At the same time, hourly changes in the outside temperature of the building and the value of the thermal and physical parameters of the building structures were taken into account.

In the process of calculations the thermal balance equation with the optimization of energy consumption through the Pyomo package was solved. The objects of modeling were devices of universal heating, ventilation and air conditioning (HVAC). The GNU Linear Programming Kit (GLPK) package was used as a solver. GLPK implements the Karush-Kuhn-Tucker optimal conditions in the process of solving optimization problems of linear programming.

As a result of calculations it was obtained the time (daily) diagrams of heater capacity, which provide comfortable living conditions and the minimum payment for the consumed electricity. Such time charts can be used for the programming of autonomous heating and air conditioning systems, the algorithm of which will be determined by the averaged data of the temperature indices of the environment, and the adjustment of operating modes will be carried out only at significant deviations from the predicted values. Such an approach provides for simplification of the life-support systems management algorithm in complex systems of a «smart» house. Another scenario of using the results can be the periodic recalculation of the operating modes of devices based on continuous monitoring of temperature indices. In the proposed model, it is possible to integrate algorithms of intellectual data analysis, in particular, forecasting on the basis of neural networks technologies.

The program for forming a model in terms of the Pyomo package created by the Python language is given.

Keywords: smart house, energy management, mathematical optimization

УДК 004.8

DOI 10.18524/1815-7459.2018.3.142045

ОБРОБКА ДАНИХ СИСТЕМИ ЦИФРОВИХ СЕНСОРІВ ТЕМПЕРАТУРИ З МЕТОЮ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОВИТРАТ «РОЗУМНОГО» БУДИНКУ

Л. С. Монастирський, Я. В. Бойко, О. І. Петришин, В. М. Лозинський

Кафедра радіоелектронних і комп'ютерних систем, факультет електроніки та комп'ютерних технологій, Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Драгоманова, 50, м. Львів,
oleg.lpml@gmail.com

Реферат

Метою роботи було створення математичної моделі енергоменеджменту «розумного» будинку та проведення оптимізаційного розрахунку такої моделі на основі експериментальних масивів даних цифрових датчиків температури як всередині, так і ззовні будинку. Вихідними умовами було забезпечення комфортних умов в будинку (температура не виходить за заданий інтервал) та мінімізації оплати за спожиту електроенергію, враховуючи існування денного та нічного тарифів. При цьому враховувались погодинні дані зміни зовнішньої температури будинку та значення теплофізичних параметрів конструкцій будинку.

У процесі розрахунків розв'язували рівняння теплового балансу з оптимізацією енергозатрат з допомогою пакету Pyomo. Об'єктом моделювання були універсальні прилади нагрівання, вентиляції та кондиціонування повітря (HVAC). В якості солвера було використано пакет GNU Linear Programming Kit (GLPK). GLPK реалізує оптимальні умови Karush-Kuhn-Tucker в процесі розв'язку оптимізаційних задач лінійного програмування.

У результаті розрахунків отримано часові (добові) діаграми потужностей нагрівників, які забезпечують комфортні умови проживання та мінімальну оплату за витрачену електроенергію. Такі часові діаграми можуть бути використані для програмування автономних систем опалення та кондиціонування, алгоритм функціонування яких буде визначатися усередненими даними температурних показників зовнішнього середовища, а коректування режимів роботи здійснюватиметься лише за значних відхилень від прогнозованих значень. Такий підхід забезпечує спрощення алгоритму керування системами життєзабезпечення в складних системах «розумного» будинку. Інший сценарій використання результатів може полягати в періодичному перерахунку режимів роботи пристроїв на основі неперервного моніторингу температурних показників. У запропоновані моделі можна легко інтегрувати алгоритми інтелектуального аналізу даних, зокрема, прогнозування на основі нейромережних технологій.

Приводиться програма формування моделі в термінах пакету Pyomo, створена мовою Python.

Ключові слова: «розумний» будинок, енергоменеджмент, математична оптимізація