

УДК 004.932

РОЗРАХУНОК МОДЕЛІ ЕНЕРГОЗАТРАТ “РОЗУМНОГО БУДИНКУ”

Л. Монастирський, Я. Бойко, О. Петришин

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Драгоманова 50, м. Львів,
oleg.lpml@gmail.com*

Робота присвячена розрахунку умов мінімізації оплати за спожиту електроенергію для опалення «розумного будинку». Застосована проста модель з одним тепловим нагрівачем без зовнішніх витрат тепла. Здешевлення оплати реалізовано шляхом оптимізації часової діаграми дискретних включень нагрівача в періоди різних за вартістю тарифів за електроенергію. Створена програма розрахунку на мові Python з застосуванням бібліотеки PuLP.

Ключові слова: транспортна задача, оптимальна модель використання енергії, суперпозиція, енергоспоживання, вектор витрат енергії

Проблема моделювання розумних об'єктів є актуальною при зміні сценаріїв запланованих подій. Зокрема важливим є розв'язання задачі економії та оптимізації енергозатрат [1-4].

Метою роботи є створення системи керування терморежимом інтелектуального будинку, яка дозволяє контролювати і оптимізувати використання енергетичної системи будинку з найменшими матеріальними затратами. Для цього була обрана проста математична модель з одним нагрівачем без зовнішніх енерговитрат.

Здешевлення можливе за рахунок експлуатації енергоспоживачів в умовах різних часових тарифів.

Таким чином для розрахунку можливої економії потрібно скласти рівняння енергетичного балансу для об'єкту на протязі доби та промоделювати різні варіанти, які задовольняють наперед заданим умовам.

В нашій задачі розглянуто ізольований об'єкт з єдиним нагрівачем (нагрівач теплої підлоги), що віддавав потрібну в часі потужність. Необхідно було знайти можливі розв'язки задачі, коли введена енергія була б більшою, ніж встановлена мінімальна, і меншою, ніж встановлена максимальна (відповідно 1400 і 1600 в.о.). При умові постійного включення енергія становила $E_{min} \leq E \leq E_{max}$. Застосовано два тарифи оплати за енергію.

Зрозуміло, що включення повинно відбуватись в періоди найнижчих тарифів. Однак, коли при цьому введена енергія менша, ніж E_{min} , необхідні довключення при високих тарифах. Найтриваліше включення при високих тарифах повинно забезпечити сумарну енергію, не більшу, ніж встановлену максимальну. Для перебору всіх можливих варіантів, які забезпечують встановлені умови і вибору серед цих варіантів тих, що є

найдешевими, була створена програма, яка дозволила мінімізувати вартість енергозатрат.

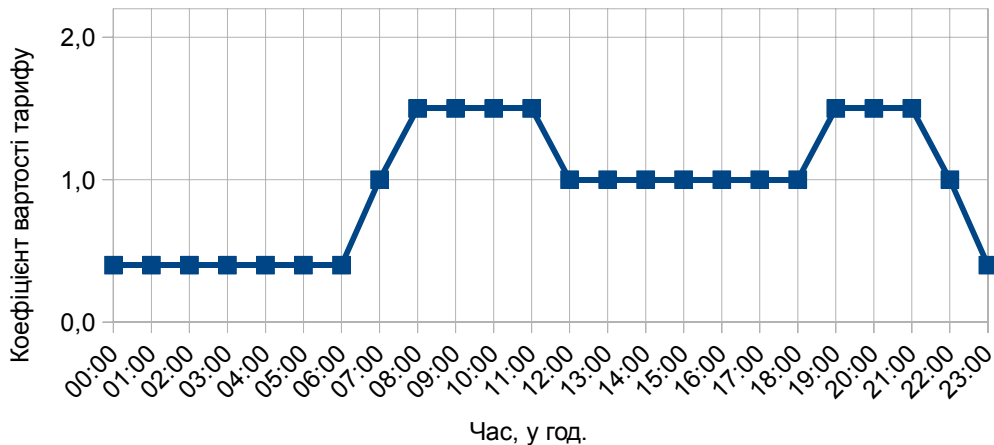
Запропонована проста модель енергозатрат розумного об'єкту дає можливість дослідити широкий спектр можливих варіантів часової розгортки періодів включення нагріву цієї системи у вигляді набору сходинок функції “включено нагрів” від часу на протязі доби, і може бути розширена на кілька енергоспоживачів, а також шляхом врахування енергетичних втрат через фасад, стіни, стелю і підлогу об'єкту.

В роботі приводиться код програми, написаний мовою Python, виконання якої легко реалізується на недорогих мікрокомп'ютерах серії Raspberry Pi. Застосовується математичний комплекс алгоритмів та допоміжних програмних інтерфейсів для роботи із масивами даних, модуль Pulp.

Оптимізація пристрою за ціною енергоресурсу зі сталою потужністю.

Система “розумного будинку” може управляти процесом роботи інших пристроїв шляхом включення пристроїв у певний період часу. Як відомо, споживання електроенергії за умови багатотарифного підключення до електромережі у ранковий час є дорожчим ніж в нічний час, оскільки навантаження на електромережу в регіоні є більше. Ці умови закладаються як вектор параметрів вхідних даних у систему “розумний будинок” і називають ціновий вектор обмежень. За суб'єкт дослідження беруть споживача електромережі, що виконує роботу за одиницю часу, тобто затрачає певну потужність, що є фіксована. У цій роботі розглядають простий пристрій, що працює безперервно одну одиницю часу, годину. Тривалість роботи пристрою достатньо розглядати за одну добу. Відповідно формується часовий вектор від 0 до 23 год. включно.

Нехай тарифний план енергоресурсу має наступний вигляд впродовж доби :



2.1.1. Графік залежності коефіцієнта енергоресурсу впродовж доби.

Часовий вектор роботи пристрою:

$$\bar{T} = [0..23] \text{ год.} \quad (1)$$

Ціновий вектор коефіцієнтів тарифних планів:

$$\bar{C} = [0.4; 1.0; 1.5] \text{ відн. од.} \quad (2)$$

Задамо критерії потужності впродовж роботи пристрою за 1 год.:

$$P = 200 \text{ Вт.} \quad (3)$$

Також необхідно задати ряд обмежень на сумарну потужність за добу:

$$\begin{aligned} P_{\min} &\geq 1200 \text{ Вт,} \\ P_{\max} &\leq 1600 \text{ Вт.} \end{aligned} \quad (4)$$

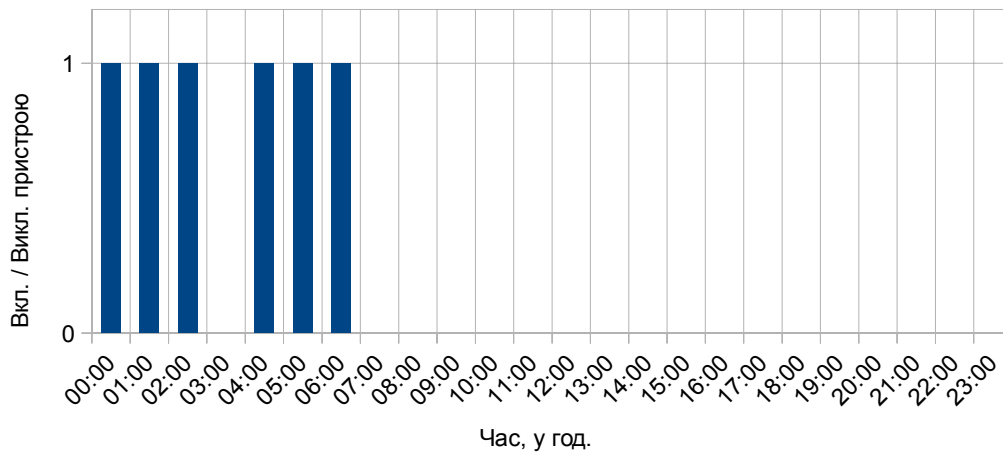
Математична модель за цими даними буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} F &= \sum \sum c_{(i,j)} * t_{(i,j)} \\ \sum t_{(i,j)} * P &\geq P_{\min} \\ \sum t_{(i,j)} * P &\leq P_{\max} \end{aligned} \quad (5)$$

Обчислюємо транспортну задачу оптимального пошуку за ціною по потужності. За допомогою математичного комплексу Pulp, як програмного модуля для мови Python, задаємо дану СЛАР (систему лінійних алгебраїчних рівнянь) і отримуємо розв'язок.

Загальні грошові затрати одного пристрою — 720 умовних одиниць.

Затрачена загальна потужність приладу протягом доби — 1200 Вт (6 включень на одну годину впродовж однієї доби).



2.1.2 Графік залежності роботи пристрою впродовж доби.

Розв'язок цієї задачі показує, що прилад працює у час найнижчих тарифних планів. Умови роботи приладу є оптимальні за вказаними обмеженнями по потужності.

Оптимізація пристрою за ціною енергоресурсу з дискретною потужністю.

Доволі часто пристрої сконструйовані для роботи з різними режимами. Наприклад, кімнатні обігрівачі мають два режими роботи: нормальний і максимальний. Завдяки цим режимам можна зменшувати/збільшувати потужність коли це необхідно. Припустимо, що наш пристрій працюватиме не тільки в нічному тарифному плані енергоресурсу. Тоді система “розумного будинку” має знайти коли найвигідніше вмикати повну і часткову потужність приладу.

Часовий вектор роботи пристрою:

$$\bar{T} = [0..23] \text{ год.} \quad (6)$$

Ціновий вектор коефіцієнтів тарифних планів:

$$\bar{C} = [0.6; 1.0; 1.5] \text{ в.о.} \quad (7)$$

Задамо критерії потужності впродовж роботи пристрою за 1 год.:

$$P = 210 \text{ Вт} \quad (8)$$

Також необхідно задати ряд обмежень на сумарну потужність за добу:

$$\begin{aligned} P_{\min} &\geq 6500 \text{ Вт,} \\ P_{\max} &\leq 7000 \text{ Вт.} \end{aligned} \quad (9)$$

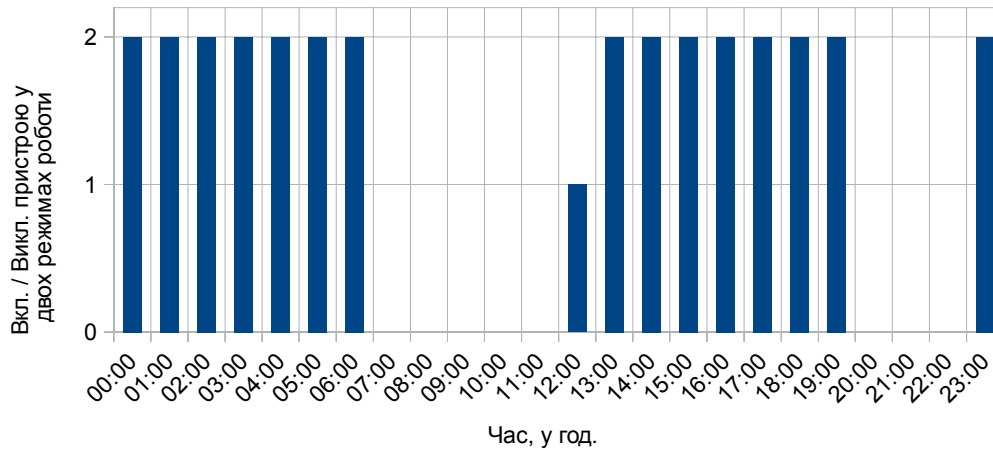
Математична модель за цими даними буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} F &= \sum \sum c_{(i,j)} * t_{(i,j)}, \\ \sum t_{(i,j)} * P &\geq P_{\min}, \\ \sum t_{(i,j)} * P &\leq P_{\max}. \end{aligned} \quad (10)$$

Розв'язок знайдений, умови оптимальні.

Загальні грошові затрати одного пристрою — 4494 умовних одиниць.

Затрачена загальна потужність приладу протягом доби — 6510 Вт (16 включень на одну годину впродовж однієї доби).



2.2. Графік залежності роботи пристрою впродовж доби.

Отож за розрахунками транспортної задачі можна зробити висновки, що прилад працює в оптимальних межах за вказаними тарифами. Тобто ціна спожитого енергоресурсу є найнижчою. Як показано на рисунку 2.2, прилад, який може працювати у різних режимах, а саме: потужність є дискретною, споживатиме менше енергоресурсу виконуючи вказані цільові обмеження роботи.

Додаток. Код програми на мові Python

```
#!/usr/bin/env python
from pulp import *

period = [str(i) for i in range(0,24)]

power = 210 # default value
cost_list = []
for j in period:
    i = int(j)
    cost_list.append(\
        0.4 if (i >= 23) or (i < 7) else \
        1.5 if (i >= 8) and (i <= 11) else \
        1.5 if (i >= 20) and (i <= 22) else 1.0)
# print i, cost_list[i]

costs = dict(zip(period, cost_list))

prob = LpProblem(name="Power-Cost consumption problem", sense=LpMinimize)
```

```
time = LpVariable.dicts("time", period, 0, 2, LpInteger)
```

```
prob += lpSum([costs[i]*time[i]*power for i in period]), "Total Cost of Energy"
prob += lpSum([power*time[i] for i in period]) <= 7000, "Max Power"
prob += lpSum([power*time[i] for i in period]) >= 6500, "Min Power"
prob.writeLP("PowerModel.lp")
prob.solve()
print("Status:", LpStatus[prob.status])
```

```
for v in prob.variables():
    print(v.name, "=", int(v.varValue))
```

```
print("Total Cost of Power = ", value(prob.objective))
```

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. What is a smart home? [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.smarthomeusa.com/smarthome/>.
2. *Harper R.* Inside the Smart Home / R. Harper. – London : Springer, 2003. – 265 pp.
3. *Mendes T. D. P.* Smart home communication technologies and applications: wireless protocol assessment for home area network resources / T. D. P. Mendes, R. Godina, E. M. G. Rodrigues [et al.] // *Energies*. – 2015. – Vol. 8. – P. 7279–7311.
4. *Теслюк В.М.* Автоматизація системного рівня проектування інтелектуального будинку / В.М. Теслюк, В.В. Береговський, А.І. Пукач, А.Р. Сидор // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова. – 2013. – Вип. 67. – С. 138-147.

*Стаття: надійшла до редакції 09.10.2017,
доопрацьована 23.10.2017,
прийнята до друку 24.10.2017.*

CALCULATION OF ENERGY CONSUMPTION MODEL OF SMART HOUSE

L. Monastyrskii, Ya. Boyko, O. Petryshyn

*Ivan Franko National University of Lviv,
50 Dragomanova Str., Lviv 79005, Ukraine
liu_mon@yahoo.com*

The aim of this work was creating of heat regime management of smart house; witch satisfies conditions of comfort and economy. The investigation was dedicated calculation of minimization condition of payment of consumed energy heating of smart house. Saving is possible at the expense of different power supply tariffs. Cheaper payment was implemented by optimization

time diagram of discrete inclusion of heater in different cost electroenergy tariff. If 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 Pulp.

The code of program is given in the appendix.

Key words: transport task, optimal power usage model, superposition, power consumption, energy costs vector