

УДК 681.5.01:658.5

В.О. Давыдов, О.Б. Максимова, Т.С. Добровольская

Одесский национальный политехнический университет, пр. Шевченка, 1, г. Одесса, 65044

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДА ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА И ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

На примере системы с переменной структурой сопоставили два метода динамической оптимизации. В качестве параметров целевой функции выступают надежность использования оборудования, эффективность использования оборудования, а также стоимость данного оборудования и качество переходного процесса. На основании полученной модели были получены результаты работоспособности методов дискретной оптимизации.

Ключевые слова: Метод генетического алгоритма – Метод динамического программирования – Обобщенный критерий – Модель теплоснабжения – Переменная структура объекта.

В.О. Давыдов, О.Б. Максимова, Т.С. Добровольська

Одеський національний політехнічний університет, пр. Шевченка, 1, м. Одеса, 65044

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДА ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМА ТА ДИНАМІЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ НА ПРИКЛАДІ РІШЕННЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛІННЯ СИСТЕМОЮ ЗІ ЗМІННОЮ СТРУКТУРОЮ

На прикладі системи зі змінною структурою зіставили два методи динамічної оптимізації. В якості параметрів цільової функції виступають надійність використаного обладнання, ефективність використання даного обладнання, а також вартість даного устаткування і якість перехідного процесу. На підставі отриманої моделі були отримані результати працездатності методів дискретної оптимізації.

Ключові слова: Метод генетичного алгоритму – Метод динамічного програмування – Узагальнений критерій – Модель теплопостачання – Змінна структура об'єкт.

V.O. Davydov, O.B. Maksimova, T.S. Dobrovolskaya

Odessa national polytechnic university, ave. Shevchenko, 1, Odessa, 65044

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE GENETIC ALGORITHMS AND DYNAMIC PROGRAMMING METHODS IN TERMS OF SYSTEM WITH VARIABLE STRUCTURE CONTROL PROBLEM SOLUTION

On the example of a system with a variable structure two methods of dynamic optimization are compared. As the parameters of the objective function are the reliability of the equipment used, the efficiency of this equipment utilization, as well as the cost of the equipment and the quality of the transition process. On the basis of the model the discrete optimization techniques performance results were obtained

Keywords: The method of genetic algorithm – Dynamic programming method – Generalized criterion – Heat-supply model – Variable structure of the object.

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в тепловой энергетике высокоразвита автоматизация. Теплоэнергетические установки механизированы, это позволяет сократить вмешательство персонала на переходный процесс, не ухудшив его качество. При этом автоматизация не учитывает факторы, которые могут влиять на качество переходного процесса. К ним могут относиться устаревшее оборудование, характеристикой которого является его надежность, эффективность, с какой данное оборудование вырабатывает энергию, а также сто-

имостными ресурсами, которыми располагает предприятие.

II. ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ МЕТОДОВ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА И ДИНАМИЧЕСКОГО МЕТОДА ОТНОСИТЕЛЬНО МЕТОДА ПОЛНОГО ПЕРЕБОРА

В работе [1] было предложено целевую функцию, которая учитывает вышеизложенные факторы. Аргументами функции были время моделирования и план переключения оборудования. Оптимальное значение целевой функции находи-

лось методом генетического алгоритма. Результатом данного решения было спрогнозировать план переключения оборудования. То есть разрешить проблему последовательного принятия решения.

Подобную проблему можно решить методом динамического программирования [2]. Этот метод позволяет решить сложные задачи, разбивая их на простые подзадачи. Также дает возможность сократить время вычислений, что необходимо для решения задач в теплоэнергетике.

На основании этого возникла задача сопоставить два метода. Для адекватности сравнения этих методов сначала сравним их с идеальным методом, а именно методом полного перебора. Так как метод полного перебора позволяет перебрать все возможные варианты решений, на нахождения оптимального решения потребуется большое количество времени. Поэтому следует рассмотреть простую модель.

За основу модели принята система теплоснабжения коттеджа. Следует поддерживать температуру воздуха в комнате, которая отапливается с помощью котла и теплонасосной установки. Тепло подводилось к полу помещения. Потери тепла в окружающую среду также учитываются. В основу тепловой модели коттеджа были положены выражения для тепловых балансов при теплообмене (Q) и теплопередаче (Q_m).

$$Q = \frac{m \times Cp \times (T_2 - T_1)}{\tau} \quad (1)$$

$$J(x, t) = \sqrt{(w_r \times R_H(x, t))^2 + (w_q \times Q_H(x, t))^2 + (w_e \times E_H(x, t))^2 + (w_s \times S_H(x, t))^2} \quad (4)$$

Согласно этой функции текущее состояние системы теплоснабжения определяется вектором r в пространстве координат ($R(t)$, $Q(t)$, $S(t)$, $E(t)$).

Вероятность отказа системы рассчитывается по следующей формуле:

$$R_H(x, t) = \sqrt{\sum \alpha_i^2(x, t)} \quad (5)$$

$$\text{где } \alpha_i = \frac{t_i \times K_{oc} \times K_{мощн} + N_{sw} \times R_{sw}}{2 \times t},$$

t_i – время работы i -той единицы оборудования на интервале времени $[t_0, t]$,

K_{oc} , $K_{мощн}$ – поправочные коэффициенты на параметры окружающей среды и текущей мощности соответственно,

N_{sw} – суммарное количество переключений i -го оборудования,

R_{sw} – время работы оборудования за одно переключение.

Нормированная величина качества поддержания заданной температуры определяется по следующей формуле:

$$Q_H(x, t) = \sqrt{\left(\frac{T_{max} - T_{min}}{\Delta t_1}\right)^2 + \left(\frac{T_s - T_p}{\Delta t_2}\right)^2} \quad (6)$$

где T_{max} , T_{min} – максимальная и минимальная температуры воздуха в помещении на интервале моделирования,

где m – масса воздуха в помещении, кг
 Cp – удельная теплоемкость среды, Дж/(кг·К)
 T_1 , T_2 – начальная и конечная температура поверхности теплообмена, К

$$Q_m = k \times F \times (T_{cp} - T_{cp0}) \quad (2)$$

где k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К)

F – площадь поверхности теплообмена, м²

T_{cp0} , T_{cp} – температуры сред, находящихся на границе теплопередачи, К

Теплота сжигания газа в котле

$$Q_{gas} = G_{gas} \times R \times \tau \quad (3)$$

где G_{gas} – расход газа, кг/с

R – удельная теплота сжигания газа, Дж/кг

τ – шаг моделирования равный 1с.

Количество энергии, выработанной теплонасосной установкой, для упрощения приняли 215,6 кДж.

В данной модели учитывается возможность переключения оборудования. Формула целевой функции имеет следующие параметры: вероятность отказа системы $R(t)$, качество работы системы управления $Q(t)$, стоимость затраченных энергоресурсов $S(t)$ и эффективность преобразования энергии $E(t)$, а также равноценные весовые коэффициенты w_r , w_q , w_e , w_s , основанные на экспертных оценках и равные 0,25.

T_s , T_p – средняя и заданная температура воздуха в помещении на интервале моделирования,

Δt_1 , Δt_2 – величины нормировки, которые равны соответственно 2 °С и 0,5 °С.

Нормированная величина эффективности системы управления имеет вид:

$$E_H(x, t) = 1 - \eta_e \quad (7)$$

где η_e – энергетический коэффициент, который учитывает преобразование первичных энергоресурсов в тепло, которое было затрачено на систему теплоснабжения при текущем плане переключений и рассчитывается по формуле:

$$\eta_e = \frac{\sum_{i=1}^N E^{вх}}{\sum_{i=1}^N E^{вх}}$$

где $E^{вх}$, $E^{вых}$ – входной и выходной энергетические потоки соответственно.

Нормированное значение стоимости затраченных ресурсов рассчитывается по формуле:

$$S_H(x, t) = \sum_{i=1}^k G_i \times S_i / S_{max} \quad (8)$$

где G_i – расходы i -го ресурса на текущем интервале времени,

S_i – стоимость i -го ресурса,

S_{max} – стоимость ресурсов, с учетом функционирования системы работающего оборудования на всем интервале моделирования,

k – количество использованных первичных источников.

Полученная задача оптимизации двух переменных относится к классу задач дискретного программирования. Ее решение заключается в выполнении следующего условия:

$$J(x,t) \rightarrow \min_{x \in X, t \in T}$$

Промоделировав систему для 12 секунд, получили, что результаты оптимума целевой

функции для трех методов совпали. Это дает возможность предположить, что на малых интервалах времени метод генетического алгоритма и динамического программирования дают идеальный результат, то есть совпадут с методом простого перебора. График изменения температуры воздуха в комнате, а также переключения оборудования представлены на рис. 1.

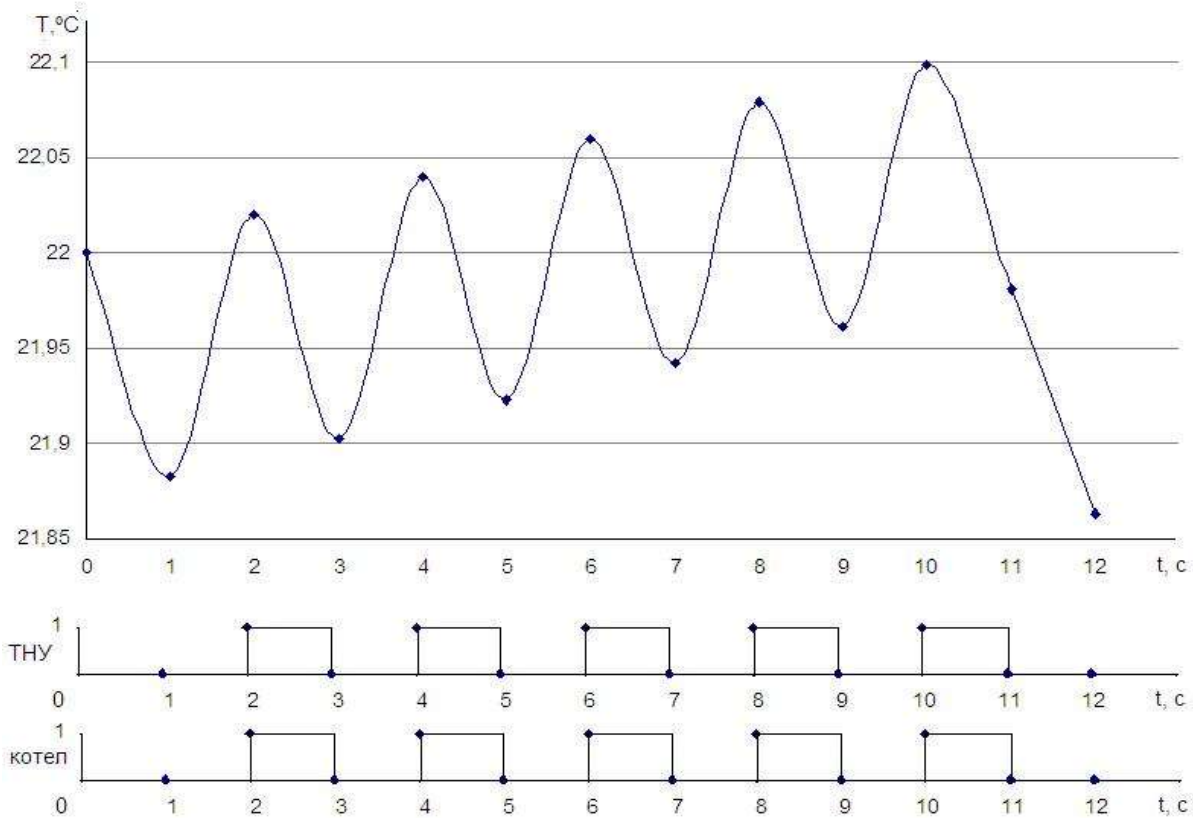


Рисунок 1 – График изменения температуры воздуха в комнате, а также план переключения оборудования

III. СОПОСТАВЛЕНИЯ МЕТОДОВ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА И ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Для нахождения решения оптимума целевой функции на больших интервалах методом простого перебора понадобится годы. Следовательно, в дальнейшем будем рассматривать метод генетического алгоритма и динамического программирования.

Усложним модель теплоснабжения. В качестве единиц оборудования выступает два котла и теплонасосная установка. Тепловую модель коттеджа усовершенствовали. А также учтена возможность расчета времени нахождения оп-

тимального решения. В тепловой модели выражения для тепловых балансов при теплообмене (Q) и теплопередаче (Q_m) остались без изменений.

Количество затраченного полезного тепла газовым котлом приняло следующий вид:

$$Q_{gas} = G_{gas} \times q_{gas} \times \eta \quad (9)$$

где q_{gas} – теплопроводная способность газа, Дж/кг

η – коэффициент полезного действия котла

Характеристики теплонасосной установки вычисляются на основе T-S диаграммы для фреона R22 по термодинамическим свойствам, которые были аппроксимированы полиномами.

$$h''(T) = -0,008 \times T^3 - 0,786 \times T^2 + 414,4 \times T + 288329 - \text{энтальпия насыщенного пара};$$

$$s''(T) = -0,00004 \times T^3 + 0,0046 \times T^2 - 0,4688 \times T + 2344 - \text{энтропия насыщенного пара};$$

$$h_2 = k(T) \times s'' + b(T) - \text{энтальпия жидкости},$$

где $k(T)=0,1118\times T^3 + 6,7452\times T^2 + 555,83\times T + 287759$;

$b(T)=-0,254\times T^3 - 17,8451\times T^2 - 716,8\times T - 386442$

$h'(T)=0,0083\times T^3 + 1,3179\times T^2 + 909,63\times T + 134942$ – энтальпия насыщенной жидкости;

$r(T)=-0,0167\times T^3 - 2,0952\times T^2 - 468,07\times T + 153383$ – теплота парообразования

Исходя из этого, определялись температура испарителя и температура конденсатора. В расчетах принималась величина КПД компрес-

сора равная 0,9. Температура окружающей среды принималась -15°C .

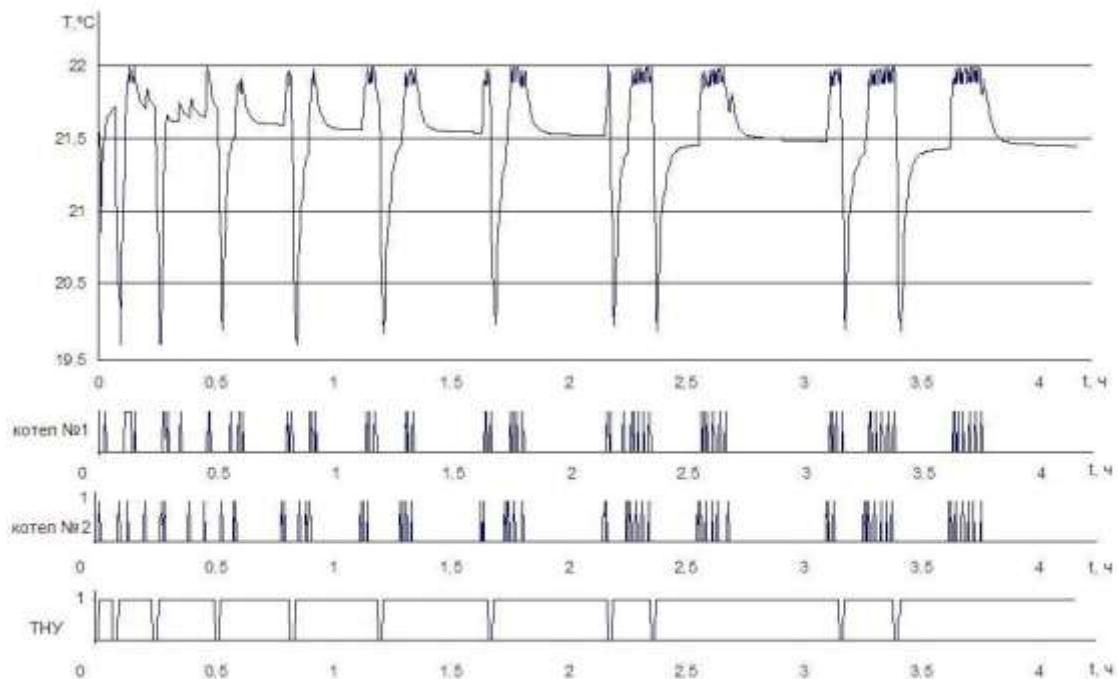


Рисунок 2 – График изменения температуры воздуха в комнате, а также план переключения оборудования, используя метод динамического программирования

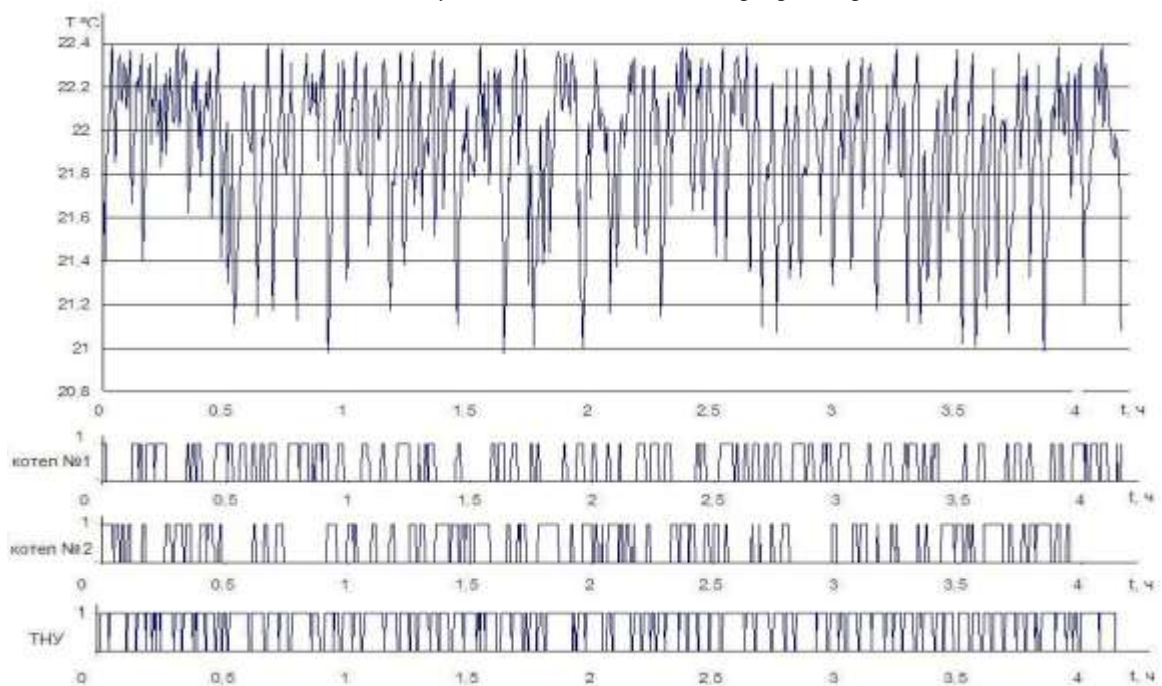


Рисунок 3 – График изменения температуры воздуха в комнате, а также план переключения оборудования, используя метод генетического алгоритма

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Промоделировали задачу двумя методами при неограниченных материальных запасах. Графики изменения температуры воздуха в комнате и планы переключений оборудования представлены на рис. 2, 3. Нормированные значения составляющих оптимального критерия управления методом генетического алгоритма составляют $Q_n = 0,720$, $R_n = 1,414$, $S_n = 0,218$, $E_n = 0,713$. Оптимум целевой функции для рассматриваемого интервала времени составил 0,438. Для метода динамического программирования составляющие критерия принимают значения $Q_n = 1,350$, $R_n = 0,845$, $S_n = 0,087$, $E_n = 0,698$, а оптимум целевой функции – 0,435.

Результаты моделирования представляют собой временные диаграммы переключения котлов и теплонасосной установки, а также график изменения температурой воздуха в комнате. При заданной температуре воздуха в комнате 22 °С в случае с методом динамического программирования температура воздуха в комнате так и не достигла заданной отметки, хотя целевая функция меньше, чем в случае с методом генетического алгоритма. Данные методы направлены на минимизацию материальных ресурсов в ущерб качеству переходных процессов. В методе динамического программирования значительно меньше число переключений оборудования, что непосредственно благосклонно для надежности использования этого оборудования. Также следует заметить, что при несущественном отличии двух этих методов, время нахождения оптимального

решения в двух этих случаях существенно отличается. Время нахождения оптимального значения целевой функции методом генетического алгоритма составило 956 секунд, в то время как методом динамического программирования 14 секунд. Следовательно, метод динамического программирования преимущественен для решения задач с переменными структурами при неограниченных запасах ресурсов. Для решения задачи с ограниченными ресурсами следует модифицировать данный метод, так как предположительно он сразу израсходует все ресурсы.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Давыдов В.О., Максименко И.Н., Максимова О.Б.** Критерий оценки эффективности управления системами с переменной структурой // Тр. Одес. политехн. ун-та. – 2007. – Вып. 2 (28). – С. 149-154.
2. **Беллман, Р.** Динамическое программирование / Р. Беллман – М.: Издательство иностранной литературы – 1960 г. – 400 с.

REFERENCES

1. **Davydov V.O., Maksimenko I.N., Maksimova O.B.** Kriteriy otsenki effektivnosti upravleniya sistemami s peremennoy strukturoy // Tr. Odes. politehn. un-ta. – 2007. – Vyip. 2 (28). – S. 149-154.
2. **Bellman, R.** Dinamicheskoe programmirovaniye / R. Bellman – M.: Izdatelstvo inostrannoy literaturyi – 1960. – 400 s.

Получена в редакции 08.10.2013, принята к печати 14.10.2013