В.Г. Якимченко, Г.Е Брикач

УО «Гомельский государственный технический университет
имени П.О. Сухого», Гомель, Беларусь

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ В ОБРАБОТКЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ НА ПЭВМ ПРИ КИПЕНИИ ОЗОНОБЕЗОПАСНЫХ ХЛАДАГЕНТОВ

Введение

С развитием средств вычислительной техники и программного обеспечения, спектр применения имитационного моделирования для обработки экспериментальных данных на ПЭВМ в сфере технических исследований существенно расширился. Как следует из определения, имитация – это компьютерный эксперимент. Единственное отличие подобного эксперимента от реального состоит в том, что он проводится с моделью системы, а не с самой системой [1].

В данной работе будет показано, как можно, используя эмпирические экспериментальные данные при кипении озонобезопасных хладагентов [2, 3], преобразовать их таким образом, чтобы получить имитационную модель по

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

обработке экспериментальных данных с выдачей множества различных сценарных решений в виде различных функционалов с дальнейшей их нелинейной оптимизацией.

1.Математическая формализация функционала и задачи нелинейной оптимизации

Формализация функционала α при кипении озонобезопасных хладагентов имеет следующий вид:

$$\alpha = A \cdot p^n \cdot q^m, \tag{1}$$

где A – безразмерный коэффициент, p – давление, атм; q – тепловой поток, кВт/м^2; n и m – показатели степени.

Задача заключается в нахождении конкретных числовых значений A, n и m. В настоящее время поиск этих параметров осуществляется эмпирическим способом, который обладает значительными погрешностями.

Вычислительные процедуры методики по созданию имитационной модели для обработки экспериментальных данных были реализованы с помощью процедуры «Трендовый анализ» с его графическими возможностями в программной оболочке Excel [4]. С помощью этой имитационной модели находились конкретные числовые значения A, n и m функционала α формулы (1).

Нелинейная оптимизация полученных нелинейных функционалов α была осуществлена с помощью специального программного обеспечения. Программное обеспечение базируется на методах нелинейного программирования с обобщенным критерием, под которым понимается такая функция α, которая превращает векторную оценку в скалярную (причем существенно нелинейную) и при этом сохраняет Парето-доминирование [4].

Задача нелинейного программирования – это задача поиска условного минимума (или максимума) с ограничениями типа неравенств.

Формализация задачи поиска условного минимума (или максимума) формулируется следующим образом. Пусть определены функции $f(x),\ f_1(x),\ f_2(x),... f_m(x)$. Обозначим $D = \{x:\ f_i(x) > 0,\ i = 1,..,m,\ x_j > 0,$ $j = 1,..,n\} = \{x:\ F(x) > 0,\ x > 0\}$, где $F(x) = (f_1(x),..., f_m(x))$. Множество D называется допустимой областью. Задача минимизации (максимизации) функции f на множестве D называется задачей нелинейного программирования. Таким образом, решением задачи нелинейного программирования являются вектор $x^* \in D$ и число f^* такие, что $f^* = f(x^*) = \ = \min f(x)$.

Точка $x^* \in D$ называется точкой условного (глобального) минимума функции f на множестве D, если $f(x^*) \le f(x)$, $\forall x \in D$.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Точка $x^* \in D$ называется точкой локального условного минимуа функции f на множестве D, если существует число $\varepsilon > 0$, такое, что неравенство $f(x^*) \le f(x)$ выполняется для таких $x \in D$, что $\left|x - x^*\right| \le \varepsilon$.

Исходя из геометрической интерпретации, основную сложность в решении задачи нелинейного программирования представляет "конструкция" множества D, а точнее его границы, представляющей из себя "негладкое" многообразие.

Ограничения создаются с помощью методов штрафных функций.

Штрафные функции используются для построения различных типов ограничений (как активных, так и пассивных) и относятся к группе непрямых методов решения задач нелинейного программирования.

2. Результаты обработки экспериментальных данных при кипении озонобезопасных хладагентов на ПЭВМ

На основании экспериментальных данных в программной оболочке Excel с помощью трендового анализа строились графические зависимости и находились корреляционные уравнения связи между величиной теплового потока q, кВт/м^2 (Х-фактор при q, кВт/м^2) и α, кВт/м^2·С (У1-фактор при T_s=13,6°С, P_s=4 атм; У2-фактор при T_s=19,5°С, P_s=5 атм; У3-фактор при T_s=26,1°С, P_s=6,4 атм; У4-фактор при T_s=30,1°С, P_s=7,4 атм) (рисунок 1).

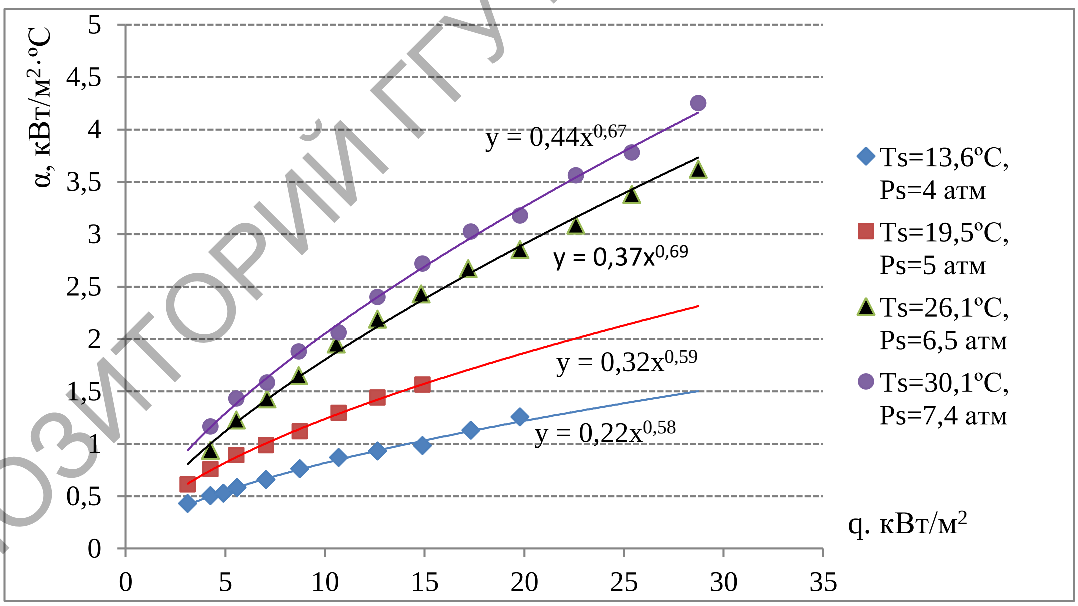

Рисунок 1 – Графические зависимости, построенные с помощью трендового анализа, q, кВт/м^2 и α, кВт/м^2·С при разных значениях температуры и давления

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

В результате имитационного моделирования был получен следующий вид функционала:

$$\alpha = 1{,}01 \cdot p^{1{,}72} \cdot q^{0{,}56}. \quad (2)$$

3. Нелинейная оптимизация функционалов α

Совокупность функционалов $\alpha = A \cdot p^{n} \cdot q^{m}$, оптимизировалась с помощью программы нелинейной оптимизации, с целью поиска оптимальных значений A, n, m [4].

Перед вводом функционала в программу оптимизации он был прологарифмирован:

$$\log(\alpha) = \log(A) + n \cdot \log(p) + m \cdot \log(q), \quad (3)$$

где A – безразмерный коэффициент, p – давление, атм; q – тепловой поток, кВт/м^2; n и m – показатели степени.

Далее все параметры функционала были преобразованы в переменные $D = \left\{ x:\ x_j > 0,\ \ j = 1,..,n \right\}$. При этом: $x_1 = A$; $x_2 = q$; $x_3 = p$; $x_4 = m$; $x_5 = n$.

$Z = \log(\alpha)$ считалась целевой функцией, которая решалась на максимум. Максимизация целевой функции осуществлялась в 5-ти мерном пространстве на области *D переменных x* $\{x: x_{нижняя\ граница} < x_j < x_{верхняя\ граница}\}$. В таблице 1 приведены исходные данные области *D переменных x*.

Таблица 1– Исходные данные для программы оптимизации

$x_{нижняя\ граница}$	$x_{верхняя\ граница}$
A = 0,4	A = 1
q = 3	q = 50
p = 4	p = 15
m = 0,4	m = 0,7
n = 0,3	n = 2

В результате оптимизации (рисунок 2) были получены следующие оптимальные параметры: $x_1^* = A = 0{,}94$; $x_2^* = q = 49{,}63$; $x_3^* = p = 14{,}91$; $x_4^* = m = 1{,}77$; $x_5^* = n = 0{,}58$. В итоге уравнение оптимального функционала было получено в следующем виде:

$$\alpha = 0{,}94 \cdot p^{1{,}77} \cdot q^{0{,}58}. \quad (4)$$

3D графическое представление полученного функционала представлено на рисунке 3.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

```
C:\NC\NC.EXE
X6= l             1.00       1.00       1.00
X7= a             1.00       3.44       1.00
X8= Re            1.00       1.00       1.00
X9= K             1.00       1.00       1.00
X10=Hr            2.37       2.53       2.75
X11=Nu            0.29       0.33       0.34
X12=q/a           2.00       3.00       4.00
Optim function: 60.21
                                    -.    -.    -.

                LOW        OPTIM       HIGH
X1= c             0.40       0.94       1.00
X2= q             3.00      49.63      50.00
X3= P             4.00      14.91      15.00
X4= n             0.40       0.58       0.70
X5= k             0.30       1.77       2.00
X6= l             1.00       1.00       1.00
X7= a             1.00       7.00       1.00
X8= Re            1.00       1.00       1.00
X9= K             1.00       1.00       1.00
X10=Hr            2.37       2.38       2.75
X11=Nu            0.29       0.30       0.34
X12=q/a           2.00       3.80       4.00
Optim function: 25.57
```

Рисунок 2 – Скриншот выходных данных программы нелинейной оптимизации

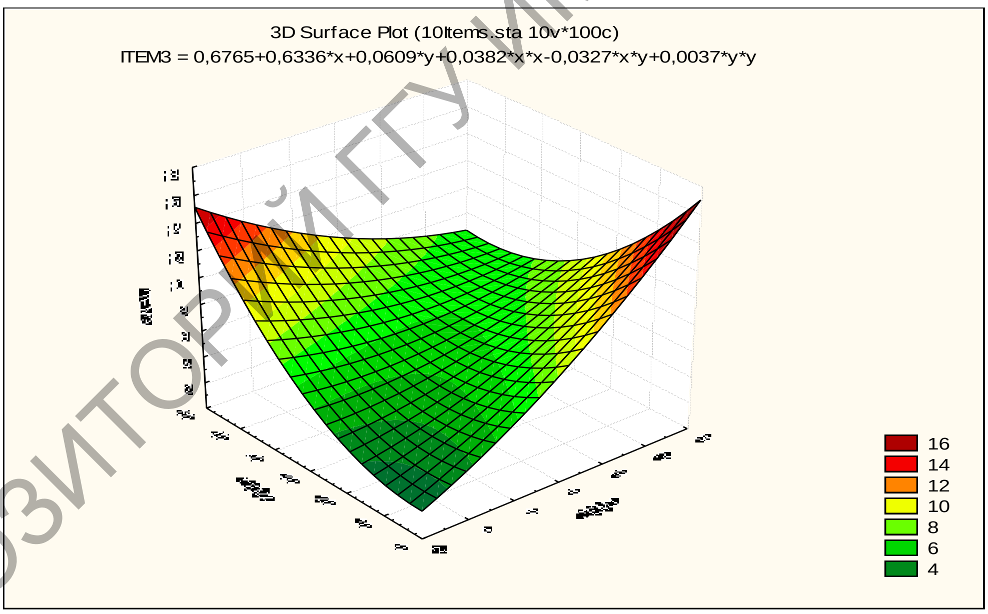

Рисунок 3 – 3D графическое представление функционала $\alpha = A \cdot p^n \cdot q^m$

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ

Заключение

Полученные результаты показали, что использование такого подхода для обработки экспериментальных данных позволяют при использовании таких IT технологий проводить теплофизические исследования на более качественном уровне с большей точностью и достоверностью. При этом следует отметить, что этот метод универсален и может быть использован в различных отраслях научного эксперимента, таких как физическом, химическом, биологическом, экономическом и других научных экспериментах.

Литература

1. Емельянов, А.А. Имитационное моделирование экономических процессов / А.А. Емельянов. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 354 с.

2. Кутателадзе, С.С. Основы теории теплообмена / С.С. Кутателадзе. – Изд. 5-е перераб. и доп. – М: Атомиздат, 1979. – 416 с.

3. Овсянник, А.В. Теплообмен при кипении на развитых поверхностях:монография / А.В. Овсянник. – Гомель : УО ГГТУ им. П.О. Сухого, 2004. – 371 с.

4. Брикач, Г.Е. Имитационное моделирование с нелинейной оптимизацией в экономике: учебное пособие / Г.Е. Брикач. – Издательство «Palmarium Academic Publishing», Саарбрюккен, Германия, 2016. – 152 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ