

УДК 519.816

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІЇ ВИБОРУ ПЕРЕВАЖНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ТРУБЧАСТИХ ГАЗОВИХ НАГРІВАЧІВ ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЮ ІНФОРМАЦІЄЮ

БАРСУК Р. В.^{1*}, асп.,ПРОДОВ В. Ф.^{2*}, д. т. н., проф.

^{1*} Кафедра системного аналізу та моделювання у теплогазопостачанні, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, e-mail: Falazar@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-9666-7496.

^{2*} Кафедра системного аналізу та моделювання у теплогазопостачанні, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, e-mail: vfirodov@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-8772-9862.

Анотація. Постановка проблеми. Робота присвячена побудові функції вибору переважних рішень за експериментальною інформацією для трубчастого газового нагрівача, що працює на паливних гранулах – пелетах. Передбачається подальше використання функції вибору для прийняття технічних рішень під час конструювання і проектування трубчастих газових нагрівачів. **Аналіз останніх досліджень.** Розглянуто праці щодо побудови функції вибору за окремими пред'явами. Але побудова повної функції вибору за окремими пред'явами не розглядалась. **Мета та завдання** - розробити повну математичну модель функції вибору за окремими пред'явами. До оцінювання первинної експериментальної інформації долучається експерт, який оцінює окремі результати за вихідними функціями (критеріями). Його оцінка оформляється у вигляді таблиці парних порівнянь експериментальних точок. Таким чином, на множині експериментальних точок за допомогою експертного оцінювання необхідно побудувати пред'яви бінарних відношень вибору, які потім застосовуються для побудови повної функції вибору. **Висновки.** Викладено послідовність побудови функції вибору. Наведено результати порівнянь точок, які характеризують стан трубчастого газового нагрівача, з використанням експертних оцінок. Отримано вихідні функції порівнянь, за якими можна характеризувати поліпшення характеристик трубчастого нагрівача чи навпаки.

Ключові слова: математична модель; теорія прийняття рішень; функція вибору; планування експерименту; трубчасті газові нагрівачі

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИИ ВЫБОРА ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ТРУБЧАТЫХ ГАЗОВЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

БАРСУК Р. В.^{1*}, асп.,ПРОДОВ В. Ф.^{2*}, д. т. н., проф.

^{1*} Кафедра системного анализа и моделирования в теплогазоснабжении, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, e-mail: Falazar@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-9666-7496.

^{2*} Кафедра системного анализа и моделирования в теплогазоснабжении, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, e-mail: vfirodov@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-8772-9862.

Аннотация. Постановка проблемы. Работа посвящена построению функции выбора предпочтительных решений по экспериментальной информации для трубчатого газового нагревателя, работающего на топливных гранулах – пеллетах. Предусматривается дальнейшее использование функции выбора для принятия технических решений при конструировании и проектировании трубчатых газовых нагревателей. **Анализ последних исследований.** Рассмотрены работы о построении функции выбора по отдельным предьявам. Но построение полной функции выбора по отдельным предьявам не рассматривалось. **Цель и задания** - разработать полную математическую модель функции выбора по отдельным предьявам. К оценке первичной экспериментальной информации подключается эксперт, который оценивает отдельные результаты по выходным функциям (критериям). Его оценивание оформляется в виде таблицы парных сравнений экспериментальных точек. Таким образом, на множестве экспериментальных точек с помощью экспертной оценки необходимо построить предьявы бинарных отношений выбора, которые потом используются для построения полной функции выбора. **Выводы.** Изложена последовательность построения функции выбора. Изложены результаты сравнений точек, которые характеризуют состояние трубчатого газового нагревателя, с использованием экспертных оценок. Получены выходные функции сравнений, по которым можно характеризовать улучшение характеристик трубчатого нагревателя или наоборот.

Ключевые слова: математическая модель; теория принятия решений; функция выбора; планирование эксперимента; трубчатые газовые нагреватели

MATHEMATICAL MODELLING OF PREFERRED SOLUTIONS CHOICE FUNCTION FOR TUBULAR GAS HEATERS BY EXPERIMENTAL INFORMATIONS

BARSUK R. V.^{1*}, *postgraduate*,
IRODOV V. F.^{2*}, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*

^{1*} Department of System Analysis and Modeling in Heat and Gas Supply, State Higher Educational Establishment «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A Chernyshevsky str., 49600, Dnipro, Ukraine, e-mail: Falazar@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-9666-7496.

^{2*} Department of System Analysis and Modeling in Heat and Gas Supply, State Higher Educational Establishment «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A Chernyshevsky str., 49600, Dnipro, Ukraine, e-mail: vfirodov@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-8772-9862.

Annotation. Problems formulation. The article deals with choice functions building of preferred solutions by experimental information for tubular gas heater working on fuel granules - pellets. Further choice functions using for making technical solutions by tubular gas heaters construction and designing. **Recently research analysis.** There are works about choice functions construction by separate presents are examined. But full chose functions building by separate presents are not examined. **Aims and tasks.** There are setting aim to develop full choice functions mathematical model on separate presents by authors. The expert are connect to primary experimental data's evaluation that estimates separate results by output functions (criteria). Its evaluations issue in experimental points paired comparison's table form. Thus, there are necessary construct binary choice relations presents on experimental "points" set by expert that then using for full choice function's constructing. **Conclusions.** There are choice function's construction's sequence are sets. There are posed point comparison results that characterized tubular gas heater's condition with expert's evaluation using. Also posed output functions comparisons by which can be characterized improving tubular gas heater's performance or vice versa.

Keywords: *mathematical model; decision theory; choice function; design of experiment; tubular gas heaters*

Постановка проблеми. Відомий трубчастий газовий обігрівач [8] складається із пальника, патрубку для постачання первинного повітря, патрубка для постачання палива та самого трубчастого нагрівача. Як паливо використовуються пелети. Пальник має свої характерні розміри: це площа пальника та ефективна площа для постачання первинного повітря.

Трубчаста частина нагрівача являє собою трубу певного діаметра. У проміжок між пальником і трубчастою частиною потрапляє вторинне повітря. Повітряний потік, у даному випадку, створює ежектор на виході із трубчастого нагрівача.

У таблиці 1 наведено конструктивні параметри роботи трубчастого нагрівача:

- площа пальника, S ;
- корисна площа для проходу первинного повітря, $S_{пер}$;
- витрати первинного повітря, L_1 ;
- загальна витрата повітря, $L_{заг}$;
- потужність пальника, W .

Також можна навести критерії, за якими здійснюється оцінювання роботи обігрівача:

- унесення золи за певний час, (3);

- концентрація CO у відпрацьованих газах, C_{CO} ;

- концентрація NO_x у відпрацьованих газах, C_{NO_x} .

Для параметрів, які характеризують роботу трубчастих газових нагрівачів, існують такі вимоги [1]: для CO це менше ніж 130 мг/м³, а для NO_x - менше 250 мг/м³. Тому на схематичному зображенні трубчастого нагрівача присутні такі надписи як CO та NO_x. Також характерним вихідним параметром є унесення золи, тому що під час посиленої подачі первинного повітря створюється ненавмисне унесення золи із пальника. Це спричинює засмічення трубчастої частини, що, у свою чергу, погіршує теплообмін, а також зменшує час працездатності трубчастої частини.

Таким чином, до вхідних параметрів, які характеризують роботу трубчастого газового нагрівача, можна віднести: характерні розміри пальника, витрати пелет, кількість первинного та вторинного повітря. До вихідних параметрів належать: унесення золи за певний час роботи пальника та концентрації CO та NO_x у відпрацьованих газах.

Конструюючи ці нагрівачі, необхідно дотримуватись декількох умов. По-перше,

концентрації CO та NO_x у відпрацьованих газах повинні бути у межах норми. По-друге, кількість унесеної золи повинна бути якомога меншою (наслідки вже були розглянуті вище). Але при цьому мають значення вхідні параметри. Наприклад, у разі збільшення витрат вторинного повітря

може понижуватися концентрація CO. Але при цьому треба використовувати більш потужний витяжний вентилятор, що зумовлює збільшення ціни системи трубчастого газового нагрівача. Тому потрібно враховувати усі вхідні і вихідні параметри одночасно.

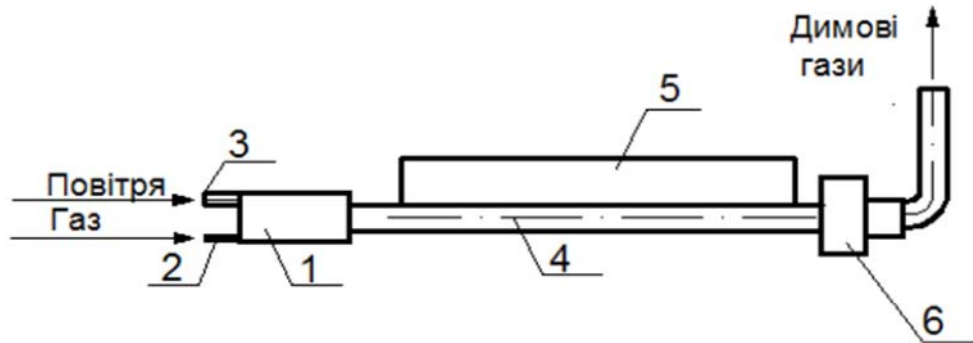


Рис. 1. Схема інфрачервоного трубчастого нагрівача:

1 – пальник у захисному кожусі; 2 – патрубок для подачі палива; 3 – патрубок для подачі первинного повітря; 4 – випромінювальна труба; 5 – відбивач теплового випромінювання (екран); 6 – вентилятор

Традиційний підхід до вирішення проблеми вимагав побудови трьох окремих залежностей для вихідних критеріїв – унесення золи (3), концентрації CO, концентрації NO_x. Крім того, це досить затратний підхід, а головне – необхідність потім на основі цих окремих залежностей побудувати математичну модель (процедуру) прийняття рішень. Але не зрозуміло, як це здійснити.

Тому було вирішено використати теорію прийняття рішень.

Можна, застосовуючи цю теорію, побудувати математичну модель функції вибору, яка буде заснована на експериментальній інформації. За допомогою цієї функції можна знаходити найбільш переважні рішення для конструювання трубчастих газових нагрівачів.

Аналіз публікацій. Трубчасті газові обігрівачі почали широко використовуватися наприкінці ХХ століття, здебільше, для систем автономного теплопостачання виробничих приміщень, наприклад, теплиць [3], цехів. Використання цих нагрівачів у житлових та громадських будівлях не дозволяється.

Існують різноманітні конструкційні схеми цих нагрівачів, у тому числі для

нагрівання повітря [6], системи з рециркуляцією [9] тощо.

Один із перспективних напрямів - використання трубчастих газових нагрівачів у будівельній конструкції [11].

Відомі різноманітні підходи до моделювання трубчастих газових обігрівачів [2; 10; 14]. Але завдання цієї роботи суттєво відрізняються від наявних.

Мета статті. Необхідно провести експериментальні дослідження роботи трубчастих газових нагрівачів за різних вхідних параметрів. Інформацію про залежність вихідних параметрів роботи трубчастих газових нагрівачів подати у вигляді окремих пред'яв реалізації функції вибору переважних рішень, за якими у подальшому можна побудувати усю функцію вибору.

Виклад основного матеріалу.

Методика проведення експерименту. Під час дослідження трубчастих газових нагрівачів задавалися такі параметри: площа пальника, площа отворів для потрапляння первинного повітря, кількість первинного повітря, та кількість загального повітря потужність пальника як характеристика витраченого палива (табл. 1).

Таблиця 1

Таблиця експериментальних даних, отриманих унаслідок дослідження трубчастого газового нагрівача

№	S	S пер	Lзаг	Lпер	W	З	max=130	max=250
							C _{CO}	C _{NOx}
	м ²	м ²	м ³ /год	м ³ /год	кВт	г/хв	мг/м ³	мг/м ³
1	0,005	0,00286	572,4	25,2	33,5	2,1	510	293
2	0,005	0,00286	543,6	23,4	31,3	2,88	6734	207
3	0,005	0,00286	543,6	21,6	54,7	2,77	43	259
4	0,01	0,00643	633,6	46,8	18,0	0,21	4500	257
5	0,01	0,00643	651,6	54	32,0	0,47	694	205
6	0,01	0,00643	684,0	50,4	35,5	5,5	110	230
7	0,01	0,00643	622,8	57,6	82,8	2,8	-	-
8	0,005	0,00127	709,2	27	26,0	0,29	-	-
9	0,005	0,00127	594	28,8	32,0	0,21	-	-
10	0,005	0,00127	601,2	30,6	36,0	0,12	-	-
11	0,01	0,00287	655,2	50,4	30,0	1,0	-	-
12	0,01	0,00287	619,2	54	60,0	3,34	-	-
13	0,01	0,00287	594,0	46,8	94,0	2,42	-	-
14	0,005	0,00286	582,0	12,6	18,0	-	2234	131
15	0,005	0,00286	571,0	7,2	20,0	-	700	229
16	0,0025	0,00021	201,0	2,7	6,4	3,57	2765	89
17	0,0025	0,00021	168,0	4,1	9,0	7,0	2902	134
18	0,0025	0,00021	165,0	4,3	18,0	10,0	7214	109
19	0,0025	0,00021	151,0	5,1	18,0	7,0	7844	125
20	0,0025	0,00021	215,0	2,2	4,7	1,6	1429	146
21	0,0025	0,00021	201,0	2,8	11,3	4,9	1311	193
22	0,0025	0,00021	196,0	3,0	10,0	5,0	1019	210
23	0,0025	0,00021	182,0	3,9	12,8	3,6	779	212
24	0,0025	0,00021	178,0	2,5	5,3	1,8	812	201
25	0,0025	0,00021	167,0	2,8	4,5	0,7	2148	160
26	0,0025	0,00021	155,0	3,0	6,0	1,7	722	265
27	0,0025	0,00021	150,0	3,5	11,2	2,8	617	259
28	0,0025	0,00021	140,0	4,0	18,0	5,4	1144	240
29	0,0025	0,00021	136,0	4,5	22,5	10,5	853	257
30	0,0025	0,00021	128,0	7,0	22,5	11,3	783	261
31	0,0025	0,00021	127,0	2,5	8,2	1,9	1099	134
32	0,0025	0,00021	123,0	3,0	9,0	1,0	450	188
33	0,0025	0,00021	111,0	3,4	11,3	1,9	246	151
34	0,0025	0,00021	105,0	3,8	15,0	3,0	438	190
35	0,0025	0,00021	97,0	4,1	15,0	4,8	1225	238
36	0,0025	0,00021	85,0	5,0	22,5	10,3	830	203
37	0,0025	0,00021	80,0	6,5	18,0	10,8	945	217
38	0,0025	0,00021	210,0	2,75	3,9	1,3	2926	161
39	0,0025	0,00021	175,0	4,1	9,0	3,4	6663	56
40	0,0025	0,00021	172,0	4,3	7,5	5,6	2845	148
41	0,0025	0,00021	168,0	5,1	18,0	35,0	1986	131
42	0,0025	0,00021	152,0	2,2	5,0	5,0	1826	116
43	0,0025	0,00021	149,0	2,8	7,5	4,0	44000	304
44	0,0025	0,00021	151,0	3,0	11,3	3,8	3944	79
45	0,0025	0,00021	151,0	3,0	11,3	3,8	3944	79

Під час дослідження вимірювалися концентрації CO та NO_x у відпрацьованих газах, а також кількість унесеної золи за певний проміжок часу. Для вимірювання концентрацій використовували газоаналізатор. Кількість золи вимірювали зважуванням за певний проміжок часу. Зола потрапляла у циклон, у якому основна маса і залишається. Нижня частина циклона з'єднана.

Витрати повітря вимірювали за допомогою шайби та диференційного манометра "Сапфір 22ДД-УХ".

Внаслідок проведення дослідження отримано таблицю експериментальних даних.

Робота з експериментальними даними.
Для початку усі дані перетворюються на безрозмірний та відносний вигляд, наприклад, від 0 до 1, що наведено у таблиці 2.

У наведеній таблиці площа перетворена від мінімуму 0,0025 та максимуму 0,01 м². Площа отворів для надходження первинного повітря взята як частка від загальної площі. Загальні витрати взяті від 0 до 800 м³/год. Для витрати первинного повітря взято як частку від загального,

помножену на 10. Потужність перетворена від 0 до 100 кВт. Для кількості унесеної

золи узято максимальну – 12 гр/хв, CO – 44 000 мг/м³, та для NOx – 304 мг/м³.

Таблиця 2

Експериментальні дані, перетворені на безрозмірний та відносний вигляд від 0 до 1

№	S	S пер	L _{заг}	L ₁	W	З	max=130	max=250
							C _{CO}	C _{NOx}
1	0,5	0,572	0,7155	0,440252	0,335	0,175	0,012	0,964
2	0,5	0,572	0,6795	0,430464	0,313	0,240	0,153	0,681
3	0,5	0,572	0,6795	0,397	0,547	0,231	0,001	0,852
4	1	0,643	0,792	0,738	0,18	0,018	0,102	0,845
5	1	0,643	0,8145	0,828	0,32	0,039	0,016	0,674
6	1	0,643	0,855	0,736	0,355	0,458	0,003	0,757
7	1	0,643	0,7785	0,924	0,828	0,233	-	-
8	0,5	0,254	0,8865	0,38	0,26	0,024	-	-
9	0,5	0,245	0,7425	0,484	0,32	0,018	-	-
10	0,5	0,254	0,7515	0,509	0,36	0,010	-	-
11	1	0,287	0,819	0,769	0,3	0,083	-	-
12	1	0,287	0,774	0,872	0,6	0,278	-	-
13	1	0,287	0,742	0,787	0,94	0,202	-	-
14	0,5	0,572	0,723	0,218	0,18	-	0,051	0,431
15	0,5	0,572	0,671	0,134	0,2	-	0,016	0,753
16	0,25	0,084	0,25125	0,134	0,064	0,298	0,063	0,293
17	0,25	0,084	0,21	0,244	0,09	0,583	0,066	0,441
18	0,25	0,084	0,20625	0,26	0,18	0,833	0,164	0,359
19	0,25	0,084	0,188	0,337	0,18	0,583	0,178	0,411
20	0,25	0,084	0,268	0,102	0,047	0,133	0,032	0,48
21	0,25	0,084	0,25125	0,139	0,113	0,408	0,03	0,635
22	0,25	0,084	0,245	0,153	0,1	0,417	0,023	0,691
23	0,25	0,084	0,2275	0,214	0,128	0,300	0,018	0,697
24	0,25	0,084	0,2225	0,14	0,053	0,150	0,018	0,661
25	0,25	0,084	0,208	0,167	0,045	0,058	0,049	0,526
26	0,25	0,084	0,194	0,194	0,06	0,142	0,016	0,872
27	0,25	0,084	0,187	0,233	0,112	0,233	0,014	0,852
28	0,25	0,084	0,175	0,285	0,18	0,450	0,026	0,789
29	0,25	0,084	0,17	0,33	0,225	0,875	0,019	0,845
30	0,25	0,084	0,16	0,546	0,225	0,942	0,018	0,859
31	0,25	0,084	0,158	0,197	0,082	0,158	0,025	0,441
32	0,25	0,084	0,15375	0,2439	0,09	0,083	0,010	0,618
33	0,25	0,084	0,13875	0,306	0,113	0,158	0,006	0,497
34	0,25	0,084	0,131	0,362	0,15	0,250	0,01	0,625
35	0,25	0,084	0,121	0,422	0,15	0,400	0,028	0,783
36	0,25	0,084	0,106	0,588	0,225	0,858	0,019	0,668
37	0,25	0,084	0,1	0,8125	0,18	0,900	0,021	0,714
38	0,25	0,084	0,2625	0,13	0,039	0,108	0,067	0,53
39	0,25	0,084	0,21875	0,234	0,09	0,283	0,151	0,184
40	0,25	0,084	0,215	0,25	0,075	0,467	0,065	0,487
41	0,25	0,084	0,21	0,303	0,18	0,292	0,045	0,431
42	0,25	0,084	0,19	0,145	0,05	0,417	0,042	0,382
43	0,25	0,084	0,186	0,188	0,075	0,333	1	1
44	0,25	0,084	0,18875	0,198	0,113	0,317	0,09	0,26

Після цього відбувається попарне порівняння експериментальних точок. Якщо точка, яка порівнюється, краща за точку, з якою проходить порівняння, то на виході отримуємо 1. Якщо ж навпаки, то отримуємо 0. Такий спосіб (завдання матрицею) найбільш оптимальний для даної задачі.

Саме на цьому етапі особа, яка приймає рішення, виконує свою роль. Це відбувається тому, що лише особа, яка добре розуміється на цьому питанні, може сказати, що краще, а що гірше.

Таким чином отримується таблиця попарних порівнянь експериментальних точок, заповнена одиницями та нулями (табл. 3). У теорії прийняття рішень такий спосіб має назву завдання матрицею.

Такий спосіб (завдання матрицею) найбільш оптимальний для даної задачі.

Аналізуючи отриману таблицю попарних порівнянь, можна дійти висновку, що бінарні порівняння мають властивості:

- транзитивність;
- рефлексивність;
- антисиметричність.

Отже, для вищенаведеної функції вибору використовується бінарне відношення нестроного порядку.

На основі таблиці 3 потрібно побудувати функцію вибору. Функція вибору являє собою теоретико-множинне відображення, яке дозволяє виділити з усіх

можливих рішень, у даній ситуації (для даного пред'явлення), прийнятні рішення.

Процес автоматизації вибору потребує завдання механізму вибору – розрахункового методу, який реалізує відповідну функцію вибору для усіляких пред'явлень [12; 13].

Таблиця 3

Порівняння експериментальних режимів (порівнюється режим стовпчика з режимом рядка, якщо він кращий, то 1, навпаки – 0)

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1
2	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
3	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
15	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
17	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
18	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
19	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1
21	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1
22	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
23	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
24	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
25	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0
26	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
27	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
28	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
29	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
31	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
32	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
36	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
37	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
38	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
39	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
40	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
41	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1
42	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1
43	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
44	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
45	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1

Продовження таблиці 3

Порівняння експериментальних режимів (порівнюється режим стовпчика з режимом рядка, якщо він кращий, то 1, навпаки – 0)

№	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1
5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1
15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1
17	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0
18	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
19	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
20	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
21	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
22	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1
26	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1
27	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1
28	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1
29	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1
30	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1
31	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
36	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
38	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1
39	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
40	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1
41	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1
42	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1
43	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
44	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1
45	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1

Формально, функцію вибору можна записати у такому вигляді:

$$C_R(X) = \{x \in X / \forall y \in X _xRy\}, \quad (1)$$

- де: $C_R(X)$ - функція вибору;
- x – одинарне пред’явлення;
- X – множина вхідних пред’явлень;
- R – бінарне відношення вибору.

Використання функцію вибору такого типу зумовлюється тим, що вона визначається бінарним відношенням R та

представляється “оптимізаційним механізмом домінування”.

У теорії прийняття рішень існує спосіб апроксимації функції вибору. У праці [5] розглядається даний процес більш детально.

Проте апроксимація не дозволяє побудувати повну функцію вибору. Тобто за значних змін параметрів потрібно будувати нову функцію вибору та її апроксимувати.

Тому перспективною бачиться побудова математичної моделі функції вибору. Для пошуку параметрів цієї функції можливо використати еволюційний пошук рішень [4].

Висновок. Запропоновано новий підхід до математичного моделювання прийняття рішень за експериментальною інформацією по роботі трубчастого газового нагрівача за трьох вихідних критеріїв. В основі підходу

– побудова функції вибору. Первинна експериментальна інформація перетворена до безрозмірного вигляду. На її основі, з використанням експертних рішень, побудовано матрицю попарних порівнянь. Для побудови функції вибору по матриці попарних порівнянь пропонується використати еволюційний алгоритм пошуку переважних рішень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Горелки газовые промышленные. Общие технические требования : ГОСТ 21204-97 / Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Изд. офиц. ; [введ. 1998-07-01 ; взамен ГОСТ 21204-83]. – Минск, 1998. – 35 с. : табл. – (Межгосударственный стандарт).
2. Дудкин К. В. Математическое моделирование трубчатых газовых нагревателей для безопасного нагрева воды в объеме со свободной поверхностью / К. В. Дудкин, В. В. Ткачева, Ю. В. Бобырь // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднпр. гос. акад. стр-ва и архитектуры ; под общ. ред. В. И. Большакова. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 62 : Безопасность жизнедеятельности 2011. – С. 166–170.
3. Дудкин К. В. Воздушно-водяная система теплоснабжения теплиц с трубчатыми газовыми нагревателями / Дудкин К. В., Ткачова В. В., Данишевский В. В. // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т. 3, № 8(63). – С. 57–60.
4. Іродов В. Ф. Регуляризація часткових описів при еволюційному пошуку рішень на основі самоорганізації / Іродов В. Ф., Барсук Р. В. // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднпр. гос. академии стр-ва и архитектуры ; под общ. ред. В. И. Большакова. – Днепропетровск, 2015. – Вып. 84. – С. 111–116.
5. Литваков Б. М. Аппроксимация функций выбора / Литваков Б. М. // Автоматика и телемеханика. – 1984. – Вып. 9. – С. 138–146. – Режим доступа: <http://www.mathnet.ru/links/6c3faa9f1fbe0e4abf8580f75055ba32/at4847.pdf>.
6. Теория выбора и принятия решений / Макаров И. М., Виноградская Т. М., Рубчинский А. А., Соколов В. Б. – Москва : Наука, 1982. – 328 с.
7. Пристрій для променевого обігріву та нагрівання повітря : пат. 61594 Україна (UA), МПК F24D 10/00, F24C 15/00 / Іродов В. Ф., Осетянська Д. Є., Хацкевич Ю. В.; заявник та власник Придніпр. акад. буд-ва і архітектури. – № u201015435; заявл. 20.12.2010; опубл. 25.07.2011, Бюл. № 14
8. Пристрій для променевого обігріву та нагрівання повітря : пат. 92674 Україна (UA), МПК F24D 10/00, F24D 15/00, F24C 15/00 / винахідники та власники : Барсук Р. В., Іродов В. Ф., Чорнойван А. А. – № u201403524; заявл. 05.04.2014; опубл. 26.08.2014, Бюл. № 16.
9. Система повітряно-променевого опалення : пат. 83475 Україна (UA), МПК F24D 10/00, F24D 15/00 / винахідники та власники : Дудкін К. В., Іродов В. Ф., Ткачова В. В., Чорноморець Г. Я. – № u 201304161; заявл. 03.04.2013; опубл. 10.09.2013, Бюл. № 17.
10. Ткачова В. В. Індуктивне моделювання трубчастого газового нагрівача та пальника на пелетах / Ткачова В. В., Барсук Р. В. // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднпр. гос. акад. стр-ва и архитектуры ; под общ. ред. В. И. Большакова. – Днепропетровск, 2014. – Вып. 78 : Компьютерные системы и информационные технологии в образовании, науке и управлении. – С. 275–281.
11. Чорноморець Г. Я. Техніко-економічне обґрунтування використання трубчастих нагрівачів, розташованих у будівельних конструкціях / Чорноморець Г. Я. // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднпр. гос. акад. стр-ва и архитектуры ; под общ. ред. В. И. Большакова. – Днепропетровск. – Вып. 76 : Энергетика, экология, компьютерные технологии в строительстве. – С. 293–298.
12. Юдин Д. Б. Вычислительные методы теории принятия решений / Юдин Д. Б. – Москва : Наука, 1989. – 320 с.
13. Salama A. S. Accurate topological measures for rough sets / Salama A. S. // International Journal of advanced research in artificial intelligence. – 2015. – Vol. 4, iss. 4. – P. 31–37. – Available at: https://thesai.org/Downloads/IJARAI/Volume4No4/Paper_5-ccurate_Topological_Measures_for_Rough_Sets.pdf
14. Taler D. Mathematical modeling of tube heat exchangers with complex flow arrangement / Dawid Taler, Marcin Trojan, Jan Taler // Chemical and Process Engineering. – 2011. – Vol. 32, iss. 1. – P. 7–19. – Available at: [http://www.degruyter.com/dg/viewarticle.fullcontentlink.pdfeventlink/\\$002fj\\$002fcpe.2011.32.issue-1\\$002fv10176-011-0001-y\\$002fv10176-011-0001-y.pdf/v10176-011-0001-y.pdf?t:ac=j\\$002fcpe.2011.32.issue-1\\$002fv10176-011-0001-y\\$002fv10176-011-0001-y.xml](http://www.degruyter.com/dg/viewarticle.fullcontentlink.pdfeventlink/$002fj$002fcpe.2011.32.issue-1$002fv10176-011-0001-y$002fv10176-011-0001-y.pdf/v10176-011-0001-y.pdf?t:ac=j$002fcpe.2011.32.issue-1$002fv10176-011-0001-y$002fv10176-011-0001-y.xml)

REFERENCES

1. *Gorelki gazovye promyshlennye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya: GOST 21204-97* [Industrial gas burners. General specifications: State standards 21204-97] Mezghos. sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii [Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification]. Izd. ofic., vved. 1998-07-01 [Official publication, dated on 1998-07-01]. Minsk, 1998, 35 p. (in Russian).
2. Dudkin K.V., Tkacheva V.V. and Bobyr' Yu.V. *Matematicheskoe modelirovanie trubchatykh gazovykh nagrevatelej dlya bezopasnogo nagreva vody v ob'eme so svobodnoj poverkhnost'yu* [Mathematical modeling of tubular gas heaters for safe water heating in the free-surface volume]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. Pridnepr. gos. akad. str-va i arhitektury [Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnepropetrovsk, 2011, iss. 62, pp. 166–170. (in Russian).
3. Dudkin K.V., Tkachova V.V. and Danishevskij V.V. *Vozdushno-vodyanaya sistema teplosnabzheniya teplits s trubchatymi gazovymi nagrevatelyami* [Air-water system of greenhouses heating with tubular gas heaters]. *Vostochno-evropejskij zhurnal peredovykh tehnologij* [Eastern European Advanced Technology Journal]. 2013, vol. 3, no. 8(63), pp. 57–60. (in Russian).
4. Irodov V.F. and Barsuk R.V. *Regulyaryzatsiia chastkovykh opysiv pry evoliutsiinomu poshuku rishen na osnovi samoorganizatsii* [Regularization of partial descriptions with evolutionary solutionssearch on the basis of self-organization]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. Pridnepr. gos. akad. str-va i arhitektury [Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnepropetrovsk, 2015, iss. 84, pp. 111–116. (in Ukrainian).
5. Litvakov B.M. *Approksimatsiya funktsij vybora* [Approximation of functions selection]. *Avtomatyka i telemekhanika* [Automation and Remote Control]. 1984, iss. 9, pp. 138-146. Available at: <http://www.mathnet.ru/links/6c3faa9f1f8e0e4abf8580f75055ba32/at4847.pdf>. (in Russian).
6. Makarov I.M., Vinogradskaya T.M., Rubchinskij A.A. and Sokolov V. *Teoriya vybora i prinyatiya reshenij* [Choice and decision theory]. Moskva: Nauka, 1982, 328 p. (in Russian).
7. Irodov V.F., Osetianska D.Ye. and Khatskevych Yu.V. *Prystrij dlia promenevoho obihrivu ta nahrivannia povitria: pat. 61594 Ukraina (UA), MPK F24D 10/00, F24C 15/00* [Device for radiant heating and air heating: pat. 61594 Ukraina (UA), Patent National Classification F24D 10/00, F24C 15/00].Prydnipr. akad. bud-va i arhitektury [Prydniprov's'ka Academy of Civil Engineering and Architecture]. No u201015435, 2011. (in Ukrainian).
8. Barsuk R.V., Irodov V.F. and Chornoivan A.A. *Prystrij dlia promenevoho obihrivu ta nahrivannia povitria: pat. 92674 Ukraina (UA), MPK F24D 10/00, F24D 15/00, F24S 15/00* [Device for radiant heating and air heating: pat. 92674 Ukraina (UA), Patent National Classification F24D 10/00, F24D 15/00, F24S 15/00]. No. u201403524; 2014. (in Ukrainian).
9. Dudkin K.V., Irodov V.F., Tkachova V.V. and Chornomorets H.Ya. *Systema povitriano-promenevoho opalennia: pat. 83475 Ukraina (UA), MPK F24D 10/00, F24D 15/00* [Air-radiant system of heating: pat. 83475 Ukraina (UA), Patent National Classification F24D 10/00, F24D 15/00]. No. u201304161, 2013. (in Ukrainian).
10. Tkachova V.V. and Barsuk R.V. *Induktyvne modeliuvannia trubchastoho hazovoho nahrivacha ta palnyka na peletakh* [Inductive modeling of tubular gas heater and burner on pellets]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. Pridnepr. gos. akad. str-va i arhitektury [Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnepropetrovsk, 2014, iss. 78, pp. 275–281. (in Ukrainian).
11. Chornomorets H.Ya. *Tekhniko-ekonomichne obhruntuvannia vykorystannia trubchastykh nahrivachiv roztashovanykh u budivelnnykh konstruksiiakh* [Feasibility study of the tubular heaters using located in building structures]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. Pridnepr. gos. akad. str-va i arhitektury [Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnepropetrovsk, iss. 76, pp. 293–298. (in Ukrainian).
12. Yudin D.B. *Vychislitel'nye metody teorii prinyatiya reshenij* [Calculation methods of the decision theory]. Moskva: Nauka, 1989, 320 p.
13. Salama A.S. *Accurate topological measures for rough sets. International Journal of advanced research in artificial intelligence.* 2015, vol. 4, iss. 4, pp. 31–37. Available at: https://thesai.org/Downloads/IJARAI/Volume4No4/Paper_5Accurate_Topological_Measures_for_Rough_Sets.pdf
14. Taler D., Trojan M. and Taler J. *Mathematical modeling of tube heat exchangers with complex flow arrangement. Chemical and Process Engineering.* 2011, vol. 32, iss. 1, pp. 7-19. Available at: [http://www.degruyter.com/dg/viewarticle.fullcontentlink:pdfeventlink/\\$002fj\\$002fcpe.2011.32.issue-1\\$002fv10176-011-0001-y\\$002fv10176-011-0001-y.pdf/v10176-011-0001-y.pdf?t:ac=j\\$002fcpe.2011.32.issue-1\\$002fv10176-011-0001-y\\$002fv10176-011-0001-y.xml](http://www.degruyter.com/dg/viewarticle.fullcontentlink:pdfeventlink/$002fj$002fcpe.2011.32.issue-1$002fv10176-011-0001-y$002fv10176-011-0001-y.pdf/v10176-011-0001-y.pdf?t:ac=j$002fcpe.2011.32.issue-1$002fv10176-011-0001-y$002fv10176-011-0001-y.xml)

Рецензент: д-р т. н., проф. Дерев'яно В. М.

Надійшла до редколегії: 13.04.2016 р.

Прийнята до друку: 12.05.2016 р.