

Local schemes for monitoring and controlling the level of materials in streams and vessels, as well as control systems of individual mechanisms of the agglomeration factory – crushers, exhalators, firing units, etc., have a certain significance in the work. The stability of the chemical composition of the charge is achieved by dosing the charge materials with a system of bunkers with feeders. Dosing is carried out by mass of materials taking into account their chemical composition.

Key words: Agglomeration, phosphorite small – scale, Coke, agglomerate, charge, management object.

Сведения об авторах

Лаура Алхайдаровна Сугурова – старший преподаватель кафедры «Автоматика и телекоммуникация», Таразский государственный университет имени М.Х. Дулати, Республика Казахстан. ORCID: 0000-0003-4784-9952.

Жарқынай Алхайдаровна Сугур – старший преподаватель кафедры «Системный анализ и управление», Евразийский университет имени Л.Н. Гумилева, Республика Казахстан.

Жанат Абдибекқызы Исакулова – старший преподаватель кафедры «Автоматика и телекоммуникация», Таразский государственный университет имени М.Х. Дулати, Республика Казахстан. e-mail: iszhan@mail.ru.

Авторлар туралы мәліметтер

Лаура Алхайдаровна Сугурова – «Автоматика және телекоммуникация» кафедрасының аға оқытушысы, М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, Қазақстан Республикасы. ORCID: 0000-0003-4784-9952.

Жарқынай Алхайдарқызы Сүгір – «жүйелік талдау және басқару» кафедрасының аға оқытушысы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия университеті, Қазақстан Республикасы.

Жанат Әбдібекқызы Исакулова – «Автоматика және телекоммуникация» кафедрасының аға оқытушысы, М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, Қазақстан Республикасы. e-mail: iszhan@mail.ru.

Information about the authors

Laura Alkhaidarovna Sugurova – Senior Lecturer of the Department of Automation and Telecommunications, M.H. Dulati Taraz State University, Republic of Kazakhstan. ORCID: 0000-0003-4784-9952.

Zharkynai Alkhaidarovna Sugar – Senior Lecturer of the Department of "System Analysis and Management", L.N. Gumilev Eurasian University, Republic of Kazakhstan.

Zhanat Abdibekkyzy Isakulova – Senior Lecturer of the Department of Automation and Telecommunications, M.H. Dulati Taraz State University, Republic of Kazakhstan. e-mail: iszhan@mail.ru.

Материал поступил в редакцию 17.02.2021 г.

МРНТИ: 50.43.19

Л.А. Сугурова¹, Ж.А. Сугур², Ж.А. Исакулова¹

¹Таразский государственный университет имени М.Х. Дулати, Республика Казахстан, Жамбылская область, Тараз, улица Желтоқсан, 71

²Евразийский университет имени Л.Н. Гумилева, 010000, Республика Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Сатпаева, 2

*e-mail: arman00796@mail.ru

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЛАНИРОВАНИЯ ПФЭ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ

Аннотация: Матрица ПФЭ реализует все возможные неповторяющиеся комбинации уровней K независимых факторов, каждый из которых может варьироваться

на двух или более уровней. Таким образом, эксперимент, в котором реализуются все возможные сочетания уровней факторов, называется полным факторным экспериментом.

В статье для оптимального управления электротермической печи разработана математическая модель методом ПФЭ. Основной задачей при разработке модели управления является составление матрицы планирования полного факторного эксперимента (ПФЭ). От качества матрицы ПФЭ будет зависеть эффективность работы всей системы управления. Задачей работы является определение оптимальных значений мощности печи (Y) в зависимости от ступени напряжения (X₁), линейных токов (X₂), расположения электродов на траверсе (X₃) и средней температуры под сводом печи (X₄).

Ключевые слова: Матрица ПФЭ, нормализация, эффект готовых знаний, регрессия.

С помощью матрицы ПФЭ создается модель управления объектом (процессом). При этом, например, для трехуровневых факторов полное число возможных сочетаний числа факторов при двух входных переменных равно N=3²=9, для трех переменных – 3³=27 и т.д.

При этом нормализация в диапазоне от 0 до 1 входных и выходных переменных производится по формуле:

$$\bar{x} = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \quad (1)$$

где: \bar{x} – нормализованное (от 0 до 1) значение входной или выходной переменной; x – текущее значение переменной; x_{\min} , x_{\max} – минимальное и максимальное значение переменной.

Матрица планирования ПФЭ должна отражать опыт, знания и интуицию технологов-операторов, долгое время работавших на производство.

Задачей работы является определение оптимальных значений мощности печи (Y) в зависимости от ступени напряжения (X₁), линейных токов (X₂), расположения электродов на траверсе (X₃) и средней температуры под сводом печи (X₄). Как правило, такие расчеты необходимо производить постоянно (примерно один раз в течении 5-7 минут) в зависимости от ситуации. Опрос технологов цеха позволил составить матрицу планирования ПФЭ для 81 эксперимента при трехуровневой оценке (0,0; 0,5 и 1,0), четырех входных переменных: N = 3⁴ = 81 (табл. 1).

Таблица 1 – Матрица планирования ПФЭ для управления

Входные переменные					Выходная переменная
№ эксп.	Степень напряжения, X ₁	Линейные токи, X ₂	Высота траверсы, X ₃	Температура под сводом, X ₄	Мощность печи, Y
1	2	3	4	5	6
1	0.0	0.5	0.0	0.5	0,76
2	0.5	0.5	0.0	0.5	0,53
3	1.0	0.5	0.0	0.5	0
4	0.0	0.0	0.0	0.5	0,72
5	0.5	0.0	0.0	0.5	0,49
6	1.0	0.0	0.0	0.5	0
7	0.0	1.0	0.0	0.5	0,81
8	0.5	1.0	0.0	0.5	0,58
9	1.0	1.0	0.0	0.5	0,046
10	0.0	0.5	0.5	0.5	0,81
11	0.5	0.5	0.5	0.5	0,58
12	1.0	0.5	0.5	0.5	0,046
13	0.0	0.0	0.5	0.5	0,76
14	0.5	0.0	0.5	0.5	0,53

1	2	3	4	5	6
15	1.0	0.0	0.5	0.5	0
16	0.0	1.0	0.5	0.5	0,86
17	0.5	1.0	0.5	0.5	0,63
18	1.0	1.0	0.5	0.5	0,092
19	0.0	0.5	1.0	0.5	0,87
20	0.5	0.5	1.0	0.5	0,66
21	1.0	0.5	1.0	0.5	0,1
22	0.0	0.0	1.0	0.5	0,81
23	0.5	0.0	1.0	0.5	0,6
24	1.0	0.0	1.0	0.5	0,07
25	0.0	1.0	1.0	0.5	0,9
26	0.5	1.0	1.0	0.5	0,72
27	1.0	1.0	1.0	0.5	0,15
28	0.0	0.5	0.0	0,0	0,81
29	0.5	0.5	0.0	0,0	0,61
30	1.0	0.5	0.0	0,0	0,07
31	0.0	0.0	0.0	0,0	0,8
32	0.5	0.0	0.0	0,0	0,58
33	1.0	0.0	0.0	0,0	0,046
34	0.0	1.0	0.0	0,0	0,87
35	0.5	1.0	0.0	0,0	0,64
36	1.0	1.0	0.0	0,0	0,09
37	0.0	0.5	0.5	0,0	0,84
38	0.5	0.5	0.5	0,0	0,64
39	1.0	0.5	0.5	0,0	0,12
40	0.0	0.0	0.5	0,0	0,84
41	0.5	0.0	0.5	0,0	0,6
42	1.0	0.0	0.5	0,0	0,046
43	0.0	1.0	0.5	0,0	0,9
44	0.5	1.0	0.5	0,0	0,69
45	1.0	1.0	0.5	0,0	0,15
46	0.0	0.5	1.0	0,0	0,87
47	0.5	0.5	1.0	0,0	0,69
48	1.0	0.5	1.0	0,0	0
49	0.0	0.0	1.0	0,0	0,8
50	0.5	0.0	1.0	0,0	0,64
51	1.0	0.0	1.0	0,0	0,07
52	0.0	1.0	1.0	0,0	1
53	0.5	1.0	1.0	0,0	0,76
54	1.0	1.0	1.0	0,0	0,2
55	0.0	0.5	0.0	1	0,72
56	0.5	0.5	0.0	1	0,6
57	1.0	0.5	0.0	1	0,046
58	0.0	0.0	0.0	1	0,67
59	0.5	0.0	0.0	1	0,49
60	1.0	0.0	0.0	1	0
61	0.0	1.0	0.0	1	0,76
62	0.5	1.0	0.0	1	0,58
63	1.0	1.0	0.0	1	0,03
64	0.0	0.5	0.5	1	0,76
65	0.5	0.5	0.5	1	0,53
66	1.0	0.5	0.5	1	0
67	0.0	0.0	0.5	1	0,72
68	0.5	0.0	0.5	1	0,49

1	2	3	4	5	6
69	1.0	0.0	0.5	1	0
70	0.0	1.0	0.5	1	0,81
71	0.5	1.0	0.5	1	0,58
72	1.0	1.0	0.5	1	0,8
73	0.0	0.5	1.0	1	0,76
74	0.5	0.5	1.0	1	0,56
75	1.0	0.5	1.0	1	0
76	0.0	0.0	1.0	1	0,75
77	0.5	0.0	1.0	1	0,6
78	1.0	0.0	1.0	1	0,04
79	0.0	1.0	1.0	1	0,78
80	0.5	1.0	1.0	1	0,63
81	1.0	1.0	1.0	1	0,07

Нормализация в диапазоне от 0 до 1 входных и выходных переменных производилась по формуле (1). В таблице 3.1 все переменные приведены к нормализованной форме в диапазоне от 0.0 до 1.0. При этом 7 ступень напряжения соответствует значению 0, а 43 – значению 1; максимальное значение линейного тока – 70 кА, что соответствует 1 в таблице 3.1, а минимальное – 0 кА; максимальное значение рабочего хода электродов, или высота траверс – 100 см, а минимальное – 20 см.; максимальная мощность печи – 70 МВт, а минимальная – 0 МВт.

Матрица планирования ПФЭ составляется опытными технологами с помощью «мысленного» эксперимента. Поэтому составить такую матрицу гораздо проще, чем по данным активного эксперимента. В таблице 1 сосредоточен многолетний опыт работы технологов на печи [11].

В матрице планирования ПФЭ заложены знания экспертов по управлению текущей мощностью в зависимости от температуры под сводом печи, ступени напряжения, значений линейных токов и высоты подъема траверсы с электродами. Матрица планирования ПФЭ может быть использована при разработке интеллектуальных моделей.

Синтез модели управления методом планирования эксперимента

В связи с тем, что в методе планирования эксперимента чаще всего используется двухуровневая оценка переменных (от -1 до +1) из таблицы 1 были выделены эксперименты лишь с такими уровнями оценки переменных. При этом оценка 0,0 таблицы 1 соответствовала оценке -1,0, а оценка 1,0 – оценке +1,0. Используя этот нехитрый прием, была составлена матрица ПФЭ для двухуровневой оценке [7], приведенная в таблице 2.

Для двухуровневых факторов полное число возможных сочетаний числа факторов равно $N=2^4=16$. При этом составляется план, в котором число столбцов факторов и их сочетаний равняется числу членов уравнения (2):

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4, \quad (2)$$

Таблица 2 – Матрица планирования полного факторного эксперимента типа 2^4

№	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₁ X ₄	X ₂ X ₃	X ₂ X ₄	X ₃ X ₄	Y
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	0,8
2	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	0,046
3	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	0,87
4	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	0,09
5	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	0,8
6	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	0,07
7	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
8	1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	0,2
9	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	0,67
10	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	0
11	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	0,76

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
12	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	0,03
13	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	0,75
14	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	0,04
15	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	0,78
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,07

Для получения матрицы ПФЭ (полного реального факторного эксперимента) необходимо было бы провести достаточно сложные и опасные для действующего объекта активные эксперименты. В тоже время, матрица ПФЭ в таблице 2 является достаточно адекватной, так как сформирована очень опытными технологами .

Теперь остается найти соответствующие коэффициенты уравнения (2) по формулам:

$$b_0 = \frac{\sum_{u=1}^n y_u}{n} \quad b_i = \frac{\sum_{u=1}^n x_i y_u}{n} \quad b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^n x_i x_j y_u}{n} \quad ., \quad (3)$$

Используя уравнение (3) были рассчитаны коэффициенты уравнений регрессии для Y:

$$b_0 = \frac{+0,8 + 0,046 + 0,87 + 0,09 + 0,8 + 0,07 + 1 + 0,2 + 0,67 + 0 + 0,76 + 0,03 + 0,75 + 0,04 + 0,78 + 0,07}{16} = 0,436$$

$$b_1 = \frac{-0,8 + 0,046 - 0,87 + 0,09 - 0,8 + 0,07 - 1 + 0,2 - 0,67 + 0 - 0,76 + 0,03 - 0,75 + 0,04 - 0,78 + 0,07}{16} = -0,3678$$

$$b_2 = \frac{-0,8 - 0,046 + 0,87 + 0,09 - 0,8 - 0,07 + 1 + 0,2 - 0,67 - 0 + 0,76 + 0,03 - 0,75 - 0,04 + 0,78 + 0,07}{16} = 0,0390$$

$$b_3 = \frac{-0,8 - 0,046 + 0,87 + 0,09 - 0,8 - 0,07 + 1 + 0,2 - 0,67 - 0 + 0,76 + 0,03 - 0,75 - 0,04 + 0,78 + 0,07}{16} = 0,0390$$

$$b_4 = \frac{-0,8 - 0,046 - 0,87 - 0,09 + 0,8 + 0,07 + 1 + 0,2 - 0,67 - 0 - 0,76 - 0,03 + 0,75 + 0,04 + 0,78 + 0,07}{16} = 0,0278$$

$$b_5 = \frac{-0,8 - 0,046 - 0,87 - 0,09 - 0,8 - 0,07 - 1 - 0,2 + 0,67 + 0 + 0,76 + 0,03 + 0,75 + 0,04 + 0,78 + 0,07}{16} = -0,0485$$

$$b_{12} = \frac{0,8 - 0,046 - 0,87 + 0,09 + 0,8 - 0,07 - 1 + 0,2 + 0,67 - 0 - 0,76 + 0,03 + 0,75 - 0,04 - 0,78 + 0,07}{16} = -0,0098$$

$$b_{13} = \frac{0,8 - 0,046 + 0,87 - 0,09 - 0,8 + 0,07 - 1 + 0,2 + 0,67 - 0 + 0,76 - 0,03 - 0,75 + 0,04 - 0,78 + 0,07}{16} = -0,0010$$

$$b_{14} = \frac{0,8 - 0,046 + 0,87 - 0,09 + 0,8 - 0,07 + 1 - 0,2 + 0,67 - 0 + 0,76 - 0,03 + 0,75 - 0,04 + 0,78 - 0,07}{16} = 0,0153$$

$$b_{23} = \frac{0,8 + 0,046 - 0,87 - 0,09 - 0,8 - 0,07 + 1 + 0,2 + 0,67 + 0 - 0,76 - 0,03 - 0,75 - 0,04 + 0,78 + 0,07}{16} = 0,0098$$

$$b_{24} = \frac{0,8 + 0,046 - 0,87 - 0,09 + 0,8 + 0,07 - 1 - 0,2 - 0,67 - 0 + 0,76 + 0,03 - 0,75 - 0,04 + 0,78 + 0,07}{16} = -0,0165$$

$$b_{34} = \frac{0,8 + 0,046 + 0,87 + 0,09 - 0,8 - 0,07 - 1 - 0,2 - 0,67 - 0 - 0,76 - 0,03 + 0,75 + 0,04 + 0,78 + 0,07}{16} = -0,0052$$

Таким образом, были получены следующее уравнение для Y:

$$Y = 0,436 - 0,6378 x_1 + 0,039 x_2 + 0,0278 x_3 - 0,0485 x_4 - 0,0098 x_1 x_2 - 0,001 x_1 x_3 + 0,0153 x_1 x_4 + 0,0098 x_2 x_3 - 0,0165 x_2 x_4 - 0,0052 x_3 x_4 \quad (4)$$

С помощью уравнения регрессии (4) были смоделированы выходные (управляющие) переменные для всех 81 экспериментальных точек [8]. Была составлена сравнительная таблица результатов моделирования и экспериментальных значений, по которым с помощью формулы (3) была рассчитана ошибка (табл. 3).

Таблица 3 – Сравнительный анализ рассчитанных и экспериментальных значений выходной переменной методом планирования эксперимента

№	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Y		№	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Y	
					Y _p	Y _э						Y _p	Y _э
1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
1	-1	-1	-1	-1	0,79	0,8	28	1	0,5	0,5	0,5	0,07	0,046
2	1	-1	-1	-1	0,02	0,046	29	-1	-1	0,5	0,5	0,75	0,76
3	-1	1	-1	-1	0,90	0,87	30	0,5	-1	0,5	0,5	0,21	0,53
4	1	1	-1	-1	0,10	0,09	31	1	-1	0,5	0,5	0,03	0
5	-1	-1	1	-1	0,84	0,8	32	-1	1	0,5	0,5	0,84	0,86
6	1	-1	1	-1	0,07	0,07	33	0,5	1	0,5	0,5	0,27	0,63
7	-1	1	1	-1	0,99	1	34	1	1	0,5	0,5	0,08	0,092
8	1	1	1	-1	0,18	0,2	35	-1	0,5	1	0,5	0,83	0,87
9	-1	-1	-1	1	0,70	0,67	36	0,5	0,5	1	0,5	0,27	0,66
10	1	-1	-1	1	0,00	0	37	1	0,5	1	0,5	0,08	0,1
11	-1	1	-1	1	0,75	0,76	38	-1	-1	1	0,5	0,76	0,81
12	1	1	-1	1	0,01	0,03	39	0,5	-1	1	0,5	0,22	0,6
13	-1	-1	1	1	0,73	0,75	40	1	-1	1	0,5	0,04	0,07
14	1	-1	1	1	0,03	0,04	41	-1	1	1	0,5	0,86	0,9
15	-1	1	1	1	0,81	0,78	42	0,5	1	1	0,5	0,29	0,72
16	1	1	1	1	0,07	0,07	43	1	1	1	0,5	0,10	0,15
17	-1	0,5	-1	0,5	0,77	0,76	44	-1	0,5	-1	-1	0,87	0,81
18	0,5	0,5	-1	0,5	0,21	0,53	46	1	0,5	-1	-1	0,08	0,07
20	1	0,5	-1	0,5	0,02	0	47	0,5	-1	-1	-1	0,22	0,58
21	-1	-1	-1	0,5	0,72	0,72	48	0,5	1	-1	-1	0,30	0,64
22	0,5	-1	-1	0,5	0,19	0,49	49	-1	0,5	0,5	-1	0,93	0,84
23	1	-1	-1	0,5	0,01	0	50	0,5	0,5	0,5	-1	0,33	0,64
24	-1	1	-1	0,5	0,79	0,81	51	1	0,5	0,5	-1	0,13	0,12
25	1	1	-1	0,5	0,03	0,046	52	-1	-1	0,5	-1	0,82	0,84
26	-1	0,5	0,5	0,5	0,82	0,81	53	0,5	-1	0,5	-1	0,25	0,6
27	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,58	54	1	-1	0,5	-1	0,06	0,046
55	-1	1	0,5	-1	0,96	0,9	69	0,5	0,5	0,5	1	0,23	0,53
56	0,5	1	0,5	-1	0,36	0,69	70	1	0,5	0,5	1	0,05	0
57	1	1	0,5	-1	0,16	0,15	71	-1	-1	0,5	1	0,72	0,72
58	-1	0,5	1	-1	0,95	0,87	72	0,5	-1	0,5	1	0,20	0,49
59	0,5	0,5	1	-1	0,35	0,69	73	1	-1	0,5	1	0,02	0
60	1	0,5	1	-1	0,15	0	74	-1	1	0,5	1	0,80	0,81
61	0,5	-1	1	-1	0,26	0,64	75	0,5	1	0,5	1	0,24	0,58
62	0,5	1	1	-1	0,38	0,76	76	1	0,5	0,5	1	0,05	0,8
63	-1	0,5	-1	1	0,74	0,72	77	-1	0,5	1	1	0,79	0,76
64	0,5	0,5	-1	1	0,19	0,6	78	0,5	0,5	1	1	0,24	0,56
65	1	0,5	-1	1	0,01	0,046	79	1	0,5	1	1	0,06	0
66	0,5	-1	-1	1	0,18	0,49	80	0,5	-1	1	1	0,20	0,6
67	0,5	1	-1	1	0,19	0,58	81	0,5	1	1	1	0,26	0,63
68	-1	0,5	0,5	1	0,78	0,76	Абсолютная ошибка, %					14,41%	

Из таблицы 3 видно, что ошибка моделирования методом планирования эксперимента имеет недопустимо большое для практики значение. В связи с чем нами была предпринята попытка создать модель управления на среднем уровне современными методами искусственного интеллекта.

Список литературы

1. Сулейменов Б.А. Интеллектуальные и гибридные системы управления технологическими процессами. – Алматы: Шикун, 2009. – 298 с.
2. Титов А.Р., Коркушев Д.Н., Широков А.В. Разработка и внедрение интеллектуальной системы диагностики мощных силовых трансформаторов. – Казань: Сетевая компания. – 2006. – 138 с.
3. Андрейченко А.В.. Интеллектуальные информационные системы. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 424 с.
4. Сулейменов Б.А., Мутанов Г.М., Сулейменов А.Б. Интеллектуальные системы управления: теория, методы, средства – Алматы: Казак университеті. – 2012. – 223 с.
5. Suleimenov B.A., Sugurova L.A., Suleimenov A. B. Intelligent and Hybrid Systems of Process Control: Theory, Methods, Applications// Mediterranean Journal of Social Sciences. – 2015, January – Vol 6, № 2.
6. Suleimenov B.A., Sugurova L.A., Turynbetov N., Suleimenov A.B., “Concept of developing an intelligent system for control and operational diagnostics of technological equipment condition”., Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Ęrodowiska – 2014. – № 1. – P. 279
7. Savchuk Tamara, Kozachuk Andriy, Gromaszek Konrad, Sugurova Laura . Identification of technogenic emergency situations in railway // Przegląd elektrotechniczny. – 2014. – Vol.90, № 11. – P. 177-184.
8. Savchuk Tamara, Kozachuk Andriy, Gromaszek Konrad, Sugurova Laura. Forecasting the state of technogenic emergency situation on the railway transport using data mining technologies // Przegląd elektrotechniczny. – 2014. – Vol.90, № 1. – P. 50-54.
9. Batyrbek Suleimenov, Laura Sugurova, Aituar Suleimenov, Alibek Suleimenov// Neuro Fuzzy Model For Equipment Health Management in Yellow Phosphorus Production Process// Journal of Engineering and Applied Sciences Year: 2017, Volume: 12 Issue: 26. Page No.: 7889-7896.
10. Batyrbek Suleimenov, Laura Sugurova, Aituar Suleimenov, Alibek Suleimenov. Intelligent Systems for Equipment Health Management and Optimum Control in Phosphate Production// Journal of Engineering and Applied Sciences Year: 2018 | Volume: 13 | Issue: 3 | Page No.: 607-618 DOI: 10.3923/jeasci.2018.
11. Batyrbek Suleimenov, Laura Sugurova, Aituar Suleimenov, Alibek Suleimenov Oxana Zhirnova. Synthesis of the equipment health management system of the 3 turbine units’ of thermal power stations// Mechanics & Industry Vol, No (2018) © AFM, EDP Sciences 2018 <https://doi.org/10.1051/meca/2017056>

Л.А. Сугурова¹, Ж.А. Сугур², Ж.А. Исакулова¹

¹М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті,
Қазақстан Республикасы, Жамбыл облысы, Тараз, Желтоқсан көшесі, 71

²Л.Н. Гумилев атындағы Евразия университеті,
010000, Қазақстан Республикасы, Нұр-сұлтан Қ., Сәтбаев к-сі, 2

*e-mail: arman00796@mail.ru

ЭЛЕКТРОТЕРМИЯЛЫҚ ПЕШТІ ОҢТАЙЛЫ БАСҚАРУ ҮШІН ТФЭ ЖОСПАРЛАУДЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІН ҚҰРУ

Аңдатпа: ПФЭ матрицасы тәуелсіз факторларға деңгейлердің қайталанбайтын барлық комбинацияларын жүзеге асырады, олардың әрқайсысы екі немесе одан да көп деңгейлерде өзгеруі мүмкін. Осылайша, факторлар деңгейінің барлық мүмкін комбинациясы жүзеге асырылатын эксперимент толық факторлық эксперимент деп аталады.

Басқару моделін жасаудағы негізгі міндет-толық факторлық экспериментті жоспарлау матрицасын құру (PFE). Бүкіл басқару жүйесінің тиімділігі PFE матрицасының

сапасына байланысты болады. ПФЭ жоспарлау матрицасы өндірісте ұзақ уақыт жұмыс істеген оператор-технологтардың тәжірибесін, білімі мен интуициясын көрсетуі тиіс.

Түйін сөздер: Толық факторлы эксперимент матрицасы, қалыпқа келтіру, дайын білімнің әсері, регрессия.

L. Sugurova^{*}, Zh. Sugur², Zh. Issakulova¹

¹Taraz State University named after M.H. Dulati,
Republic of Kazakhstan, Zhambyl region, Taraz, Zheltoksan Street, 71

²The Eurasian University named after L.N. Gumilyov,
010000, Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan, Satpayev str., 2

*e-mail: arman00796@mail.ru

CONSTRUCTION OF A MATHEMATICAL MODEL OF PFE PLANNING FOR OPTIMAL CONTROL OF AN ELECTROTHERMAL FURNACE

Abstract: The PFE matrix implements all possible non-repeating combinations of K levels of independent factors, each of which can vary by two or more levels. Thus, an experiment in which all possible combinations of factor levels are realized is called a complete factor experiment.

The main task in developing a management model is to compile a matrix for planning a complete factorial experiment (PFE). The efficiency of the entire control system will depend on the quality of the PFE matrix. The PFE planning matrix should reflect the experience, knowledge and intuition of technologists-operators who have worked for production for a long time.

Key words: PFE matrix, normalization, the effect of ready knowledge, regression.

Сведения об авторах

Лаура Алхайдаровна Сугурова – старший преподаватель кафедры «Автоматика и телекоммуникация», Таразский государственный университет имени М.Х. Дулати, Республика Казахстан. ORCID: 0000-0003-4784-9952.

Жарқынай Алхайдаровна Сугур – старший преподаватель кафедры «Системный анализ и управление», Евразийский университет имени Л.Н. Гумилева, Республика Казахстан.

Жанат Абдибекқызы Исакулова – старший преподаватель кафедры «Автоматика и телекоммуникация», Таразский государственный университет имени М.Х. Дулати, Республика Казахстан. e-mail: iszhan@mail.ru.

Авторлар туралы мәліметтер

Лаура Алхайдаровна Сугурова – «Автоматика және телекоммуникация» кафедрасының аға оқытушысы, М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, Қазақстан Республикасы. ORCID: 0000-0003-4784-9952.

Жарқынай Алхайдарқызы Сүгір – «жүйелік талдау және басқару» кафедрасының аға оқытушысы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия университеті, Қазақстан Республикасы.

Жанат Әбдібекқызы Исакулова – «Автоматика және телекоммуникация» кафедрасының аға оқытушысы, М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, Қазақстан Республикасы. e-mail: iszhan@mail.ru.

Information about the authors

Laura Alkhaidarovna Sugurova – Senior Lecturer of the Department of Automation and Telecommunications, M.H. Dulati Taraz State University, Republic of Kazakhstan. ORCID: 0000-0003-4784-9952.

Zharkynai Alkhaidarovna Sugur – Senior Lecturer of the Department of "System Analysis and Management", L.N. Gumilev Eurasian University, Republic of Kazakhstan.

Zhanat Abdibekkyzy Isakulova – Senior Lecturer of the Department of Automation and Telecommunications, M.H. Dulati Taraz State University, Republic of Kazakhstan. e-mail: iszhan@mail.ru.

Материал поступил в редакцию 22.02.2021 г.