

## Построение регрессионных моделей с использованием планов экспериментов

Из теории конвективного теплообмена известно, что при внешнем обтекании горизонтального цилиндра произвольного поперечного сечения критериальная зависимость для определения коэффициента теплоотдачи на внешней поверхности цилиндра имеет вид

$$Nu = 0.43 + c Re^m Pr^n, \quad (1)$$

где  $Nu = \frac{\alpha d}{\lambda}$  – число Нуссельта,  $Re = \frac{\rho w d}{\mu}$  – число Рейнольдса,  $Pr = \frac{\mu c}{\lambda}$  – число

Прандтля,  $d$  – характерный (эквивалентный) диаметр цилиндра,  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи,  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности омывающей цилиндр среды (жидкости или газа),  $\rho$  – плотность омывающей среды,  $w$  – скорость среды,  $\mu$  – вязкость среды,  $c$  – удельная массовая теплоемкость среды при постоянном давлении. Зависимость (1) позволяет находить значения  $\alpha$  по известным геометрическим параметрам цилиндра и параметрам омывающей среды. Критериальные зависимости вида (1) могут устанавливаться либо по данным физических экспериментов (в большинстве случаев это именно так), либо по результатам вычислительных экспериментов, связанных с детальным компьютерным моделированием процессов теплообмена, выполняемым в каком-либо «тяжелом» инженерном пакете компьютерного моделирования (ANSYS, STAR-CD, FlowVision и т.д.).

В приводимых ниже таблицах (по вариантам) приведены результаты трех экспериментов по определению значений числа Нуссельта в 9 различных точках, полученных различными сочетаниями трех значений числа Рейнольдса и трех значений числа Прандтля.

### Задача I. Полный факторный эксперимент и линейное уравнение регрессии

- 1) Привести уравнение (1) к виду линейного уравнения регрессии

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2. \quad (2)$$

- 2) Преобразовать заданные таблицы экспериментальных данных в новые переменные  $x_1, x_2$  и перейти к кодированным значениям факторов  $x_1, x_2$ .

- 3) Построить план полного факторного эксперимента (ПФЭ)  $2^2$  и по нему построить уравнение регрессии вида (2).

- 4) Выполнить проверку адекватности построенной регрессионной модели вида (2) по критерию Фишера и проверку значимости коэффициентов модели по критерию Стьюдента.

- 5) Осуществить обратный переход от модели (2) к модели (1), т.е. восстановить значения параметров  $c, m, n$ .

## **Задача II. Ортогональный центральный композиционный план и нелинейное (квадратичное) уравнение регрессии**

1) На основе преобразованных по п. 2 задачи I таблиц результатов эксперимента построить ортогональный центральный композиционный план с ядром в виде полного факторного эксперимента  $2^2$  и построить соответствующее нелинейное уравнение регрессии вида

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_{11}x_1^2 + a_{12}x_1x_2 + a_{22}x_2^2. \quad (3)$$

2) Выполнить проверку адекватности построенной регрессионной модели вида (3) по критерию Фишера и проверку значимости коэффициентов модели по критерию Стьюдента.

3) Выполнить сравнение построенной модели вида (3) с регрессионной моделью вида (2) из задачи I.

### Внешнее обтекание круглого цилиндра

Вариант 1

Pr\Re	0.0001	0.00205	0.004
0.6	0.5984	0.6476	0.6619
	0.5892	0.6495	0.6565
	0.5932	0.6440	0.6575
1.3	0.6356	0.6999	0.7155
	0.6369	0.6966	0.7160
	0.6419	0.7092	0.7179
2	0.6703	0.7376	0.7625
	0.6740	0.7464	0.7671
	0.6705	0.7389	0.7650

Вариант 2

Pr\Re	0.004	0.047	0.09
1	0.6974	0.7842	0.8176
	0.6892	0.8241	0.8169
	0.7026	0.7906	0.8546
6	0.8865	1.1114	1.1269
	0.9092	1.0666	1.1424
	0.9093	1.0815	1.1057
11	0.9804	1.2245	1.3009
	0.9675	1.2107	1.2825
	1.0081	1.1964	1.2805

Вариант 3

Pr\Re	0.09	0.545	1
0.8	0.7864	1.0800	1.1984
	0.8204	1.0358	1.1414
	0.8331	1.0773	1.1814
1	0.8368	1.1370	1.2493
	0.8368	1.0921	1.2470
	0.8347	1.1254	1.2383
1.2	0.8633	1.1613	1.2749
	0.8490	1.1294	1.2679
	0.8436	1.1464	1.3068

Вариант 4

Pr\Re	1	18	35
0.1	0.8392	1.6017	1.9199
	0.8161	1.5853	1.9677
	0.8429	1.5815	2.0023
0.35	1.0048	2.1862	2.6179
	0.9908	2.1814	2.7529
	0.9799	2.2177	2.6567
0.6	1.1302	2.4956	3.0820
	1.0954	2.4814	3.0036
	1.1025	2.5536	3.1670

### Внешнее обтекание ромбического цилиндра

Вариант 5

Pr\Re	2500	5000	7500
0.8	35.6	55.5	71.3
	36.5	56.7	71.9
	36.9	55.0	69.6
1	39.6	57.9	76.2
	39.2	60.4	77.2
	38.8	57.9	77.0
1.2	40.1	61.1	79.4
	40.5	61.2	79.2
	40.7	61.2	79.1

Вариант 6

Pr\Re	7500	14000	20500
0.8	43.9	62.7	79.5
	44.3	63.4	79.0
	42.9	64.9	78.2
1.2	50.4	72.7	90.6
	50.0	72.0	90.4
	49.6	69.9	88.0
1.6	53.2	76.8	97.2
	53.5	80.5	100.8
	54.3	80.1	96.0

### Внешнее обтекание эллиптического цилиндра

Вариант 7

Pr\Re	2500	8750	15000
0.75	27.3	58.3	79.8
	28.4	57.4	84.1
	28.2	59.3	80.7
1	29.9	62.9	87.2
	29.9	65.1	88.9
	29.7	64.1	92.0
1.25	33.0	67.9	96.9
	33.1	70.6	94.4
	31.5	67.5	93.6

Вариант 8

Pr\Re	3000	9000	15000
0.2	36.0	85.0	128.4
	36.5	87.5	130.8
	35.5	86.7	128.7
0.4	43.7	108.6	165.5
	43.5	110.1	158.4
	45.3	105.5	161.1
0.6	50.1	123.5	184.7
	50.9	118.6	188.5
	52.0	120.3	187.8

### Внешнее обтекание шестигранного цилиндра

Вариант 9

Pr\Re	5000	12250	19500
0.8	35.3	62.8	82.6
	33.9	60.1	84.1
	35.6	62.7	82.9
1.1	37.8	68.4	88.2
	37.7	66.7	90.6
	38.5	68.9	92.3
1.4	41.4	73.8	95.7
	41.2	72.9	94.8
	40.1	73.2	98.7

Вариант 10

Pr\Re	20000	60000	100000
2	112.2	258.9	390.8
	112.3	269.7	393.0
	112.7	260.9	399.2
4	140.8	327.4	479.9
	136.0	330.2	482.7
	135.0	317.8	491.8
6	156.7	380.7	566.4
	158.7	365.4	556.6
	153.1	381.8	547.9

### Внешнее обтекание квадратного цилиндра

Вариант 11

Pr\Re	2500	3750	5000
0.2	26.8	34.1	42.8
	25.4	33.5	41.1
	26.8	34.9	42.4
0.7	39.2	51.9	62.2
	37.7	51.9	61.9
	37.7	51.4	60.7
1.2	44.7	60.2	73.7
	45.7	59.8	72.4
	45.5	58.5	72.1

Вариант 12

Pr\Re	5000	7500	10000
4	49.0	65.0	79.0
	48.2	64.6	78.5
	49.1	66.0	76.8
6	56.8	75.0	90.5
	56.5	73.0	90.2
	56.8	74.4	90.3
8	60.3	82.9	97.2
	62.9	81.4	99.5
	61.9	78.3	99.7