

Выбор матрицы планирования

Описываемая методика позволяет получить модель вида:

$$Y_R = b_0 + \sum_{i=1}^M b_i x_i + \sum_{\substack{i=j=1 \\ j \neq i}}^M b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^M b_{ii} x_i^2$$

Ниже приведены некоторые наиболее известные матрицы, имеющие хорошие статистические характеристики и включающие небольшое число опытов. При этом используются следующие обозначения:

- ◆ M - число факторов (входных параметров);
- ◆ N - общее число опытов в матрице;
- ◆ N_ц - число опытов в центре эксперимента;
- ◆ В условном обозначении строк в матрице используются следующие сокращения:
- ◆ a, b, c, d, e - факторы (соответственно X₁, X₂, X₃, X₄, X₅) на верхнем уровне;
- ◆ a(0),b(0),c(0),d(0),e(0) - факторы (соответственно X₁, X₂, X₃, X₄, X₅) на основном уровне;
- ◆ (1) - все факторы в данной строке на нижнем уровне.

Матрица Коно (K₀₂):

M	N	N _ц	Условное обозначение строк в матрице
2	9	1	ab,b,a,(1),ab(0),b(0),a(0)b,a(0),a(0)b(0)

Матрица Бокса (B₃):

M	N	N _ц	Условное обозначение строк в матрице
3	14	0	abc,bc,ac,c,ab,b,a,(1),ab(0)c(0),b(0)c(0),a(0)bc(0),a(0)c(0),a(0)b(0)c,a(0)b(0)

Матрица Бокса (B₄):

M	N	N _ц	Условное обозначение строк в матрице
4	24	0	abcd,bcd,acd,cd,abd,bd,ad,d,abc,bc,ac,c,ab,b,a,(1),ab(0)c(0)d(0),b(0)c(0)d(0),a(0)bc(0)d(0),a(0)c(0)d(0),a(0)b(0)cd(0),a(0)b(0)d(0),a(0)b(0)c(0)d,a(0)b(0)c(0)

Матрица Бокса (B₅):

M	N	N _ц	Условное обозначение строк в матрице
5	42	0	abcde,bcde,acde,cde,abde,bde,ade,de,abce,bce,ace,ce,abe,be,ace,abcd,bcd,acd,cd,abd,bd,ad,d,abc,bc,ac,c,ab,b,a,(1),ab(0)c(0)d(0)e(0),b(0)c(0)d(0)e(0),a(0)bc(0)d(0)e(0),a(0)c(0)d(0)e(0),a(0)b(0)cd(0)e(0),a(0)b(0)d(0)e(0),a(0)b(0)c(0)de(0),a(0)b(0)c(0)e(0),a(0)b(0)c(0)d(0)e,a(0)b(0)c(0)d(0)

Матрица Хартли (H_{a5}):

M	N	N _ц	Условное обозначение строк в матрице
5	27	1	abcde,bcd,acd,cde,abd,bde,ade,d,abc,bce,ace,c,abe,b,a,e,ab(0)c(0)d(0)e(0),b(0)c(0)d(0)e(0),a(0)bc(0)d(0)e(0),a(0)c(0)d(0)e(0),a(0)c(0)d(0)e(0),a(0)b(0)cd(0)e(0),a(0)b(0)d(0)e(0),a(0)b(0)c(0)de(0),a(0)b(0)c(0)e(0),a(0)b(0)c(0)d(0)e,a(0)b(0)c(0)d(0),a(0)d(0)c(0)d(0)e(0)

При проведении эксперимента по одной из вышеперечисленных матриц необходимо прибегать к рандомизации опытов.

Для изучения описываемой методики можно воспользоваться значениями, приведенными в приложении 10.

Зная квадратическую неровноту выходного параметра $C\{Y\}$ по данным предварительного эксперимента или на основании другой априорной информации, а также задавая величину относительной ошибки $\delta\{Y\}$ и доверительной вероятностью $u(P_D)$, можно рассчитать требуемое число повторностей каждого опыта:

$$n\{Y\} = \left(\frac{u\{P_D\} C\{Y\}}{\delta\{Y\}} \right)^2$$

Обработку полученных данных проводят в следующем порядке.

Нахождение статистических характеристик

Находят средние значения функции отклика по строкам \bar{Y}_u и построчные дисперсии $S_u^2\{Y_u\}$ по формулам:

$$\bar{Y}_u = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Y_{ui}, \quad S_u^2\{Y_u\} = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (Y_{ui} - \bar{Y}_u)^2, \text{ где}$$

m - число повторностей опыта.

Проверка гипотезы об однородности дисперсий

Если число повторных опытов m одинаково для всех опытов матрицы, то для проверки однородности дисперсий применяется критерий Кочрена, расчетное значение которого определяется по формуле:

$$G_R = \frac{S_{u_{\max}}^2\{Y\}}{\sum_{u=1}^N S_u^2\{Y\}}$$

Расчетное значение G_R сравнивают с табличным значением G_T , которое определяют (приложение 5) в зависимости от числа опытов в матрице N и числа степеней свободы дисперсии $f\{S_u^2\} = m - 1$ для заданной доверительной вероятности.

Если $G_R < G_T$, то гипотеза об однородности дисперсий принимается, если нет - следует применить методику исключения резко выделяющихся величин или найти причину возникновения большой дисперсии в u -м опыте, а затем повторить (полностью или частично) экспериментальную часть работы.

Если число повторных опытов m различно для разных опытов матрицы, то для проверки гипотезы об однородности дисперсий в опытах матрицы применяется критерий Бартлета [1, стр.55].

Вычисление дисперсии воспроизводимости

Вычисляют дисперсию воспроизводимости по формуле:

$$S^2\{\bar{Y}\} = \frac{\sum_{u=1}^N S_u^2\{Y\}}{n(N - N_0 + 1)}$$

Вычисление коэффициентов искомого уравнения (модели) и их дисперсий

$$b_0 = g_1 \sum_{u=1}^N \bar{Y}_u - g_2 \sum_{i=1}^M \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 \bar{Y}_u ;$$

$$b_i = g_3 \sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{Y}_u;$$

$$b_{ij} = g_4 \sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} \bar{Y}_u;$$

$$b_{ii} = g_5 \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 \bar{Y}_u + g_6 \sum_{i=1}^M \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 \bar{Y}_u - g_2 \sum_{u=1}^N \bar{Y}_u;$$

$$S^2\{b_0\} = g_1 S^2\{\bar{Y}\};$$

$$S^2\{b_i\} = g_3 S^2\{\bar{Y}\};$$

$$S^2\{b_{ij}\} = g_4 S^2\{\bar{Y}\};$$

$$S^2\{b_{ii}\} = g_7 S^2\{\bar{Y}\};$$

Значения постоянных коэффициентов g_i приведены в таблице (Таблица 7)

Таблица 7

Матрица	M	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5	g_6	g_7
Ко ₂	2	0,55556	0,33333	0,16666	0,25000	0,5	0,00000	0,50000
B ₃	3	0,40625	0,15625	0,10000	0,12500	0,5	-0,09375	0,40625
B ₄	4	0,22917	0,06250	0,05556	0,06250	0,5	-0,10417	0,39583
B ₅	5	0,15821	0,03320	0,02941	0,03125	0,5	-0,09180	0,40820
Na ₅	5	0,13804	0,03030	0,55560	0,06250	0,5	-0,09091	0,40909

Оценка значимости полученных коэффициентов регрессии

Значимость полученных коэффициентов оценивается с помощью критерия Стьюдента, расчетное значение которого (для каждого коэффициента) определяется по формуле:

$$t_{R\{b_i\}} = \frac{|b_i|}{\sqrt{S^2\{b_i\}}}$$

Полученное расчетное значение t_R сравнивается с табличным t_T , которое определяют по таблице (приложение 3) при условии, что $P_D=0,95$ и число степеней свободы $f\{S_u^2\} = N(m-1)$.

Если $t_{R\{b_i\}} > t_T$, то коэффициент b_i значим. Если $t_{R\{b_i\}} < t_T$, то коэффициент b_i незначим, и его необходимо приравнять нулю, т.е. исключить член $b_i X_i$ из модели.

Необходимо учитывать, что значимость коэффициентов зависит не только от удельного влияния данного фактора на выходной параметр, но и от интервала варьирования уровней фактора. Незначимость может быть обусловлена малым интервалом варьирования фактора, большой дисперсией воспроизводимости вследствие наличия неуправляемых и неконтролируемых факторов, а также расположением основного уровня фактора близко к точке частного экстремума выходного параметра по этому фактору.

Следует отметить, что исключение членов модели с коэффициентами b_{ii} в случае их незначимости без пересчета значимых коэффициентов b_{ij} и b_0 является некорректным приемом, хотя его часто применяют.

При числе факторов более трех ($M > 3$) с целью повышения адекватности модели рекомендуется проводить последовательное исключение членов модели с незначимыми коэффициентами b_{ii} (начиная с минимального) с пересчетом оставшихся коэффициентов [1, стр.178].

Проверка адекватности полученной модели

Проверку адекватности модели можно проводить только при условии, что число проведенных опытов больше числа коэффициентов модели.

Вначале определяется дисперсия неадекватности:

$$S_{i\hat{a}\hat{a}}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N (\bar{Y}_u - Y_{Ru})^2}{N - N_{\text{ф. ф. ф.}} - (N_{\hat{o}} - 1)^2}, \text{ где}$$

$N_{\text{зн.коэф.}}$ - число значимых (оставшихся) коэффициентов в модели.

Y_{Ru} - возвращаемые моделью расчетные значения выходного параметра, которые определяют для каждого опыта путем подстановки в полученное уравнение соответствующих значений входных параметров.

Определяют расчетное значение критерия Фишера:

$$F_R = \frac{S_{i\hat{a}\hat{a}}^2\{Y\}}{S^2\{Y\}}, \text{ если } S_{i\hat{a}\hat{a}}^2\{Y\} > S^2\{Y\};$$

или $F_R = \frac{S^2\{Y\}}{S_{i\hat{a}\hat{a}}^2\{Y\}}, \text{ если } S^2\{Y\} > S_{i\hat{a}\hat{a}}^2\{Y\}.$

Расчетное F_R значение критерия сравнивают с табличным F_T , которое определяют по таблице (приложение 4) при условии, что $P_D=0,95$, $f\{S_u^2\} = M(m-1)$, $f\{S_{i\hat{a}\hat{a}}^2\} = N - N_{\text{ф. ф. ф.}}$.

Если $F_R < F_T$, то с вероятностью P_D гипотеза об адекватности полученной модели принимается.

Если гипотеза об адекватности отвергается, необходимо переходить к описанию процесса полиномом второго порядка на базе другого вида эксперимента или, если это возможно, проводить эксперимент с меньшим интервалом варьирования уровней факторов. Однако неоправданное уменьшение интервала варьирования может обусловить статистическую незначимость коэффициентов регрессии.

Исследование полученной регрессионной многофакторной модели

Используя полученную модель необходимо определить характер изменения поверхности отклика в экстремальном участке и определить комбинацию уровней факторов, обеспечивающих экстремальное значение выходного параметра, т.е. оптимальные условия исследуемого процесса.

Наиболее наглядным является графическое построение (например, с помощью «STATISTICA FOR WINDOWS») поверхности отклика для двухфакторной регрессионной модели путем изображения линий одинакового уровня выходного параметра (изолиний). Каждая линия представляет собой проекцию сечения поверхности отклика плоскостью, параллельной плоскости чертежа.

Анализируя вид полученной поверхности легко определить влияние каждого фактора на выходной параметр.

Для трехфакторной модели строят три семейства изолиний для двух факторов, используя три стабилизации третьего фактора (на нижнем, основном и верхнем уровне).

При $M > 3$ наглядное представление о геометрическом образе поверхности отклика становится невозможным из-за отсутствия у человека интуиции в многомерных пространствах.

Для нахождения координат точки оптимума (оптимальных значений факторов) можно воспользоваться одним из множества методов, реализованных на ЭВМ (например, «STATISTICA FOR WINDOWS»).

Литература

- Севостьянов А.Г. Методы и средства исследований механико-технологических процессов текстильной промышленности. М., «Легкая индустрия», 1980.
- Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М., «Машиностроение», 1981.
- Тойберг П. Оценка точности результатов измерений. Пер. с немецк. М., «Энергоатомиздат», 1988.
- Севостьянов А.Г., Кудинов А.В., Литвинов М.С. и др. Методы и средства исследований механико-технологических процессов текстильной промышленности. Лабораторный практикум. М., «Легкая промышленность и бытовое обслуживание», 1986.
- Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. М., «Финансы и статистика», 1983.
- Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Исследование зависимостей. М., «Финансы и статистика», 1985.
- Кокс Д., Снелл Э. Прикладная статистика: Принципы и примеры. М., «Мир», 1984.
- Ким Дж.-О., Мьюллер Ч.У., Клекка У.Р., Олдендерфер М.С., Блэшфилд Р.К. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: Пер. с англ. Под ред. И.С.Енюкова. М., «Финансы и статистика», 1989.
- Григорьев С.Г., Перфилов А.М., Левандовский В.В., Юнкеров В.И. STATGRAPHICS на персональном компьютере. Санкт-Петербург., «ПО-3», 1992.

Приложения

<http://belspin.vstu.by>

Приложение 1

Критические значения критерия Смирнова-Граббса V_T

Количество элементов совокупности	Уровень доверительной вероятности p_D		
	0.99	0.95	0.90
<i>m</i>			
3	1.414	1.412	1.406
4	1.723	1.689	1.645
5	1.955	1.869	1.791
6	2.130	1.996	1.894
7	2.265	2.093	1.974
8	2.374	2.172	2.041
9	2.464	2.237	2.097
10	2.540	2.294	2.146
11	2.606	2.343	2.190
12	2.663	2.387	2.229
13	2.714	2.426	2.664
14	2.759	2.461	2.297
15	2.800	2.493	2.326
16	2.837	2.523	2.354
17	2.871	2.551	2.380
18	2.903	2.577	2.404
19	2.932	2.600	2.426
20	2.959	2.623	2.447
21	2.984	2.644	2.467
22	3.008	2.664	2.486
23	3.030	2.683	2.504
24	3.051	2.701	2.502
25	3.071	2.717	2.537

Приложение 2

Критические значения критерия Пирсона χ^2_T

Число степеней свободы f	Уровень доверительной вероятности p_D			
	0.9	0.95	0.99	0.999
1	2.705	3.841	6.635	10.828
2	4.605	5.991	9.210	13.816
3	6.251	7.815	11.345	16.266
4	7.779	9.488	13.277	18.467
5	9.236	11.070	15.086	20.515
6	10.645	12.591	16.812	22.458
7	12.017	14.067	18.475	24.322
8	13.361	15.507	20.090	26.125
9	14.684	16.919	21.666	27.877
10	15.987	18.307	23.209	29.588
11	17.275	19.675	24.725	31.264
12	18.549	21.026	26.217	32.909
13	19.812	22.362	27.688	34.528
14	21.064	23.685	29.141	36.123
15	22.307	24.996	30.578	37.697
16	23.542	26.296	31.999	39.252
17	24.769	27.587	33.409	40.790
18	25.989	28.869	34.805	42.312
19	27.204	30.143	36.191	43.820
20	28.412	31.410	37.566	45.315
21	29.615	32.670	38.932	46.797
22	30.813	33.924	40.289	48.268
23	32.007	35.172	41.638	49.728
24	33.196	36.415	42.980	51.179
25	34.382	37.652	44.314	52.620

Приложение 3

Значения критерия Стьюдента t_T

Число степеней свободы f	Уровень доверительной вероятности p_D				
	0.8	0.9	0.95	0.99	0.999
1	3.078	6.314	12.706	63.657	636.62
2	1.866	2.920	4.303	9.925	31.598
3	1.638	2.353	3.182	5.841	12.924
4	1.533	2.132	2.776	4.604	8.610
5	1.476	2.015	2.571	4.032	6.869
6	1.440	1.943	2.447	3.707	5.959
7	1.415	1.895	2.365	3.499	5.408
8	1.397	1.860	2.306	3.355	5.041
9	1.383	1.833	2.262	3.250	4.781
10	1.372	1.812	2.228	3.169	4.587
11	1.363	1.796	2.201	3.106	4.437
12	1.356	1.782	2.179	3.055	4.318
13	1.350	1.771	2.160	3.012	4.221
14	1.345	1.761	2.145	2.977	4.140
15	1.341	1.753	2.131	2.947	4.073
16	1.337	1.746	2.120	2.921	4.015
17	1.333	1.740	2.110	2.898	3.965
18	1.330	1.734	2.101	2.878	3.922
19	1.328	1.729	2.093	2.861	3.883
20	1.325	1.725	2.086	2.845	3.850
21	1.323	1.721	2.080	2.831	3.819
22	1.321	1.717	2.074	2.819	3.792
23	1.319	1.714	2.069	2.807	3.767
24	1.318	1.711	2.064	2.797	3.745
25	1.316	1.708	2.060	2.787	3.725
26	1.315	1.706	2.056	2.779	3.707
27	1.314	1.703	2.052	2.771	3.690
28	1.313	1.701	2.048	2.763	3.674
29	1.311	1.699	2.045	2.756	3.659
30	1.310	1.697	2.042	2.750	3.646
40	1.303	1.684	2.021	2.704	3.551
60	1.296	1.671	2.000	2.660	3.460
120	1.289	1.658	1.980	2.617	3.373
∞	1.282	1.645	1.960	2.576	3.291

<http://velspink.ru>

Приложение 4

Значения критерия Фишера F_T (f_1 - степень свободы для меньшей дисперсии, f_2 - степень свободы для большей дисперсии)

$f_1 \backslash f_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.12	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.69
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.67
27	4.21	3.95	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.65
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.64
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.62
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.51
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.39
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.25
120	3.922	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35	1.00
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.71

Приложение 6

X_1 , X_2 и Y - соответственно прочность, удлинение и масса полуметрового отрезка пряжи, полученной пневматическим способом;
 m - количество испытаний

m	Вариант 1			Вариант 2			Вариант 3			Вариант 4			Вариант 5			Вариант 6			Вариант 7			Вариант 8			Вариант 9			Вариант 10		
	X_1	X_2	Y	X_1	X_2	Y	X_1	X_2	Y	X_1	X_2	Y	X_1	X_2	Y	X_1	X_2	Y	X_1	X_2	Y	X_1	X_2	Y	X_1	X_2	Y	X_1	X_2	Y
1	960	17.2	99	935	14.0	84	985	18.6	115	985	13.8	92	980	11.9	106	835	9.8	101	1060	15.7	93	1055	14.0	90	965	11.8	91	1050	12.6	96
2	965	17.2	87	925	17.4	108	980	18.0	122	1135	16.6	122	840	9.2	94	1075	14.8	107	1040	12.4	87	1190	15.0	102	1175	16.7	109	1075	15.4	90
3	985	18.2	112	965	16.4	114	960	15.2	109	940	11.5	85	1155	15.8	112	1195	13.7	101	850	11.5	93	1175	15.4	114	1080	15.0	91	1175	16.5	114
4	930	14.0	74	950	16.0	90	960	15.4	115	960	13.1	104	1105	13.0	94	1015	13.0	107	1155	15.6	105	1050	15.0	96	1275	17.0	127	1000	14.8	102
5	935	14.4	81	930	13.8	108	945	15.0	109	1055	14.4	98	935	11.3	94	1025	13.9	113	1170	16.1	124	1020	13.7	84	970	12.0	103	900	12.1	84
6	950	14.6	99	950	15.4	102	985	17.2	115	865	11.3	85	890	10.8	83	1035	15.6	101	1365	17.4	112	1075	14.7	90	1075	13.9	97	795	10.3	90
7	985	17.2	105	950	16.4	114	930	14.4	83	1175	14.1	104	965	13.0	106	995	13.9	107	1100	14.0	105	1095	15.4	108	1175	15.0	103	875	13.2	108
8	940	15.6	87	965	17.4	120	975	17.2	122	865	15.0	116	950	13.1	100	885	12.2	95	945	14.6	93	1075	14.4	96	1075	14.4	91	965	15.2	114
9	960	17.0	112	965	16.6	102	955	16.0	122	1175	16.8	116	965	13.9	94	965	11.6	88	1190	16.5	99	795	9.4	78	1105	16.3	109	1065	15.0	90
10	960	16.6	93	905	12.8	84	945	15.6	90	1050	14.0	104	1175	15.1	112	1175	15.2	120	1050	14.8	105	1050	14.4	102	1190	16.5	121	1120	15.4	102

m	Вариант 11			Вариант 12			Вариант 13			Вариант 14			Вариант 15			Вариант 16			Вариант 17			Вариант 18			Вариант 19			Вариант 20		
	X_1	X_2	Y	X_1	X_2	Y	X_1	X_2	Y	X_1	X_2	Y	X_1	X_2	Y	X_1	X_2	Y	X_1	X_2	Y	X_1	X_2	Y	X_1	X_2	Y	X_1	X_2	Y
1	1120	15.7	95	1135	16.0	119	965	10.8	84	750	9.1	88	1175	15.4	111	980	11.9	106	985	17.2	115	1075	14.7	90	1075	18.5	114	1265	17.0	125
2	1170	16.9	113	995	14.2	106	1135	14.8	90	965	15.6	119	905	11.2	86	840	9.2	94	930	14.4	83	1095	15.4	108	965	12.1	90	1060	13.7	113
3	935	13.3	77	945	12.6	88	1270	16.6	120	850	12.3	106	1110	13.6	105	1155	15.8	112	975	17.2	122	1075	14.4	96	910	12.6	102	855	11.6	94
4	1120	16.2	119	900	11.4	106	1055	13.6	96	12.3	17.6	119	1135	15.3	105	1105	13.0	94	955	16.0	122	795	9.4	78	855	13.3	108	850	13.1	94
5	1060	16.5	113	1160	16.2	119	1055	13.8	102	1175	15.6	100	1135	16.0	117	935	11.3	94	945	15.6	90	1050	14.4	102	1020	14.0	108	1215	15.8	119
6	1120	15.7	95	1265	17.0	125	1075	18.5	114	1000	13.1	94	970	11.7	92	950	14.6	99	985	13.8	92	1055	14.0	90	750	9.1	88	1120	15.7	95
7	1055	15.3	101	1060	13.7	113	965	12.1	90	1075	14.6	113	1040	16.0	123	985	17.2	105	1135	16.6	122	1190	15.0	102	965	15.6	119	1055	15.3	101
8	1000	13.2	113	855	11.6	94	910	12.6	102	1105	16.5	125	1020	15.3	117	940	15.6	87	940	11.5	85	1175	15.4	114	850	12.3	106	1000	13.2	113
9	1230	15.9	89	850	13.1	94	855	13.3	108	970	13.2	94	835	10.6	92	960	17.0	112	960	13.1	104	1050	15.0	96	12.3	17.6	119	1230	15.9	89
10	875	11.7	83	1215	15.8	119	1020	14.0	108	1055	14.8	100	950	13.7	99	960	16.6	93	1055	14.4	98	1020	13.7	84	1175	15.6	100	875	11.7	83

Приложение 7

m	№ варианта																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1.	480	950	1100	760	720	930	900	465	620	630	825	800	1025	860	790	510	1050	930	775	670
2.	540	1400	980	740	620	800	875	450	500	620	685	810	1050	1260	655	435	1400	930	780	800
3.	555	1170	930	745	635	850	970	500	570	615	790	760	1080	1070	850	505	1500	1150	835	555
4.	480	1350	1040	800	770	950	980	460	530	740	825	540	900	1030	735	410	1250	1100	835	740
5.	520	1450	740	850	645	1200	510	485	580	760	880	860	955	980	830	450	1150	780	720	725
6.	520	1250	930	775	735	1260	905	530	550	735	790	1050	965	940	730	480	1200	1100	630	835
7.	595	1270	950	750	620	1030	785	515	480	800	880	500	950	1170	610	530	1250	1040	700	720
8.	510	1480	820	650	870	1160	950	480	515	770	560	850	945	960	750	485	1400	1270	615	710
9.	570	900	680	675	750	1130	940	560	525	880	680	760	965	1220	690	450	1150	1100	680	740
10.	520	1270	790	650	745	920	670	515	630	550	785	870	950	1300	860	485	1200	640	640	825
11.	560	1460	1050	715	805	1150	980	560	570	810	620	820	780	1100	635	495	1120	700	570	790
12.	520	1250	750	590	725	920	960	490	550	680	805	820	1030	1340	720	450	1350	1000	715	770
13.	583	1100	1210	825	750	1020	740	470	570	600	730	860	1075	1050	630	480	1300	520	830	570
14.	545	1150	930	860	705	1060	805	540	550	795	700	700	895	1200	810	500	1200	1030	815	705
15.	500	1150	1030	815	730	1000	855	480	570	740	640	710	950	1080	610	455	1100	930	870	815
16.	540	1150	810	805	690	1100	680	525	450	700	820	870	790	1120	860	510	1200	980	820	885
17.	530	1030	1100	770	750	1170	620	505	580	710	830	800	850	980	760	480	1300	930	925	835
18.	540	1000	1100	610	650	980	830	560	560	740	755	860	865	1320	800	455	1050	980	770	540
19.	480	950	580	780	810	1085	760	580	490	705	655	640	1175	1380	605	485	1170	930	710	615
20.	550	1200	980	650	705	950	730	480	615	790	750	700	1020	1080	735	465	1280	980	690	770
21.	545	1200	1050	750	765	1000	540	500	540	760	860	700	900	1200	835	480	950	1100	760	720
22.	520	1300	930	730	775	920	990	440	490	700	690	740	920	900	635	540	1400	980	740	620
23.	525	1350	700	830	650	850	955	505	605	730	755	650	840	970	580	555	1170	930	745	635
24.	585	1200	640	740	670	800	805	600	520	720	740	760	1025	1230	805	480	1350	1040	800	770
25.	500	1300	630	790	905	880	795	475	650	750	590	1050	1105	1120	975	520	1450	740	850	645
26.	480	1050	920	780	715	850	970	540	670	760	520	1000	1045	1180	675	520	1250	930	775	735
27.	515	1350	980	775	520	950	810	530	490	735	905	920	890	900	740	595	1270	950	750	620
28.	530	1300	810	710	765	950	515	515	560	730	845	930	1065	840	615	510	1480	820	650	870
29.	540	940	690	660	845	1070	785	490	580	750	720	980	900	1220	910	570	900	680	675	750
30.	515	1330	750	700	850	1050	715	480	545	630	940	450	670	1200	530	520	1270	790	650	745
31.	510	1050	930	775	670	1350	925	505	540	815	610	500	1115	1450	655	560	1460	1050	715	805
32.	435	1400	930	780	800	1270	480	480	595	800	820	640	850	1500	620	520	1250	750	590	725
33.	505	1500	1150	835	555	1350	830	540	615	620	585	580	1070	1160	695	583	1100	1210	825	750
34.	410	1250	1100	835	740	1130	725	490	540	740	600	820	1135	1250	705	545	1150	930	860	705

m	№ варианта																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
35.	450	1150	780	720	725	1380	985	500	575	570	710	810	925	1280	810	500	1150	1030	815	730
36.	480	1200	1100	630	835	1400	655	520	500	660	720	820	1105	1450	725	540	1150	810	805	690
37.	530	1250	1040	700	720	1050	740	480	575	760	685	780	1190	1550	980	530	1030	1100	770	750
38.	485	1400	1270	615	710	1200	820	485	520	880	780	810	1045	1420	630	540	1000	1100	610	650
39.	450	1150	1100	680	740	1120	895	480	470	780	670	940	1120	1600	680	480	950	580	780	810
40.	485	1200	640	640	825	1100	780	490	615	775	815	820	1060	1070	670	550	1200	980	650	705
41.	495	1120	700	570	790	1200	870	505	540	915	770	620	775	1200	830	545	1200	1050	750	765
42.	450	1350	1000	715	770	1200	830	480	450	765	880	590	1035	1200	615	520	1300	930	730	775
43.	480	1300	520	830	570	1330	785	530	560	840	765	540	980	1120	620	525	1350	700	830	650
44.	500	1200	1030	815	705	1550	720	515	610	745	675	530	850	1020	835	585	1200	640	740	670
45.	455	1100	930	870	815	1350	790	510	530	710	750	560	815	1480	715	500	1300	630	790	905
46.	510	1200	980	820	885	1200	785	550	520	720	850	930	1020	1550	650	480	1050	920	780	715
47.	480	1300	930	925	835	1200	905	480	540	755	715	750	1060	1430	690	515	1350	980	775	520
48.	455	1050	980	770	540	1200	780	500	620	815	645	740	825	1430	650	530	1300	810	710	765
49.	485	1170	930	710	615	1200	980	500	520	785	610	700	925	1410	875	540	940	690	660	845
50.	465	1280	980	690	770	1300	725	505	515	680	720	850	980	1220	910	515	1330	750	700	850

<http://belspin.by>

Приложение 8

Значения X_u и Y_{uj} для различных вариантов

u	X_u	Вариант № 1					Вариант № 2					Вариант № 3					Вариант № 4					Вариант № 5				
		Y_{u1}	Y_{u2}	Y_{u3}	Y_{u4}	Y_{u5}	Y_{u1}	Y_{u2}	Y_{u3}	Y_{u4}	Y_{u5}	Y_{u1}	Y_{u2}	Y_{u3}	Y_{u4}	Y_{u5}	Y_{u1}	Y_{u2}	Y_{u3}	Y_{u4}	Y_{u5}	Y_{u1}	Y_{u2}	Y_{u3}	Y_{u4}	Y_{u5}
1	50	1150	1090	1100	1210	1070	1210	1140	1100	1040	1090	1200	1210	1200	1165	1110	1110	1060	1110	1090	1150	1160	1150	1100	1120	1170
2	100	1100	1050	980	1150	980	980	970	1000	1020	1050	930	1050	1040	1050	960	1100	1050	1040	1010	1110	1010	1000	1000	980	950
3	150	980	810	950	980	850	860	800	820	830	890	870	915	930	990	950	900	910	950	890	920	930	910	900	940	900
4	200	810	910	920	870	860	820	770	760	770	810	760	820	830	840	800	860	900	890	870	850	800	830	850	820	850
5	250	710	760	750	820	790	650	740	660	650	700	450	460	400	440	460	820	760	770	750	740	770	750	740	720	730

u	X_u	Вариант № 6					Вариант № 7					Вариант № 8					Вариант № 9					Вариант № 10				
		Y_{u1}	Y_{u2}	Y_{u3}	Y_{u4}	Y_{u5}	Y_{u1}	Y_{u2}	Y_{u3}	Y_{u4}	Y_{u5}	Y_{u1}	Y_{u2}	Y_{u3}	Y_{u4}	Y_{u5}	Y_{u1}	Y_{u2}	Y_{u3}	Y_{u4}	Y_{u5}	Y_{u1}	Y_{u2}	Y_{u3}	Y_{u4}	Y_{u5}
1	50	930	980	930	990	970	1100	1030	1080	1030	1040	1150	1090	1100	1210	1070	1210	1140	1100	1040	1090	1110	1060	1110	1090	1150
2	100	880	810	870	840	830	930	980	950	950	910	1010	1000	1000	980	950	1100	1050	1040	1010	1110	930	1050	1040	1050	960
3	150	710	740	780	790	770	850	810	870	820	880	860	800	820	830	890	900	910	950	890	920	980	810	950	980	850
4	200	680	620	680	640	630	740	700	760	730	780	820	770	760	770	810	860	900	890	870	850	800	830	850	820	850
5	250	520	510	540	580	550	640	690	640	610	670	650	740	660	650	700	770	750	740	720	730	650	740	660	650	700

u	X_u	Вариант № 11					Вариант № 12					Вариант № 13					Вариант № 14					Вариант № 15				
		Y_{u1}	Y_{u2}	Y_{u3}	Y_{u4}	Y_{u5}	Y_{u1}	Y_{u2}	Y_{u3}	Y_{u4}	Y_{u5}	Y_{u1}	Y_{u2}	Y_{u3}	Y_{u4}	Y_{u5}	Y_{u1}	Y_{u2}	Y_{u3}	Y_{u4}	Y_{u5}	Y_{u1}	Y_{u2}	Y_{u3}	Y_{u4}	Y_{u5}
1	50	1150	1090	1100	1210	1070	1210	1140	1100	1040	1090	1200	1210	1200	1165	1110	1110	1060	1110	1090	1150	1160	1150	1100	1120	1170
2	100	980	810	950	980	850	930	980	950	950	910	1010	1000	1000	980	950	1100	1050	1040	1010	1110	930	1050	1040	1050	960
3	150	880	810	870	840	830	860	800	820	830	890	870	915	930	990	950	900	910	950	890	920	930	910	900	940	900
4	200	680	620	680	640	630	740	700	760	730	780	820	770	760	770	810	860	900	890	870	850	800	830	850	820	850
5	250	710	760	750	820	790	650	740	660	650	700	450	460	400	440	460	820	760	770	750	740	770	750	740	720	730

u	X_u	Вариант № 16					Вариант № 17					Вариант № 18					Вариант № 19					Вариант № 20				
		Y_{u1}	Y_{u2}	Y_{u3}	Y_{u4}	Y_{u5}	Y_{u1}	Y_{u2}	Y_{u3}	Y_{u4}	Y_{u5}	Y_{u1}	Y_{u2}	Y_{u3}	Y_{u4}	Y_{u5}	Y_{u1}	Y_{u2}	Y_{u3}	Y_{u4}	Y_{u5}	Y_{u1}	Y_{u2}	Y_{u3}	Y_{u4}	Y_{u5}
1	50	1100	1050	980	1150	980	1100	1030	1080	1030	1040	1150	1090	1100	1210	1070	1210	1140	1100	1040	1090	1110	1060	1110	1090	1150
2	100	930	980	930	990	970	980	970	1000	1020	1050	930	1050	1040	1050	960	1100	1050	1040	1010	1110	1010	1000	1000	980	950
3	150	710	740	780	790	770	850	810	870	820	880	860	800	820	830	890	900	910	950	890	920	980	810	950	980	850
4	200	810	910	920	870	860	820	770	760	770	810	760	820	830	840	800	860	900	890	870	850	800	830	850	820	850
5	250	520	510	540	580	550	640	690	640	610	670	650	740	660	650	700	770	750	740	720	730	650	740	660	650	700

Приложение 9

Значения X_i для всех вариантов

Уровни факторов	Факторы					
	Натуральные значения			Кодированные значения		
	X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3
нижний	50	10	3	-	-	-
верхний	100	15	4	+	+	+

X_1 - скорость формирования пряжи, м/с;
 X_2 - вытяжка;
 X_3 - давление в форсунке, Мпа.

Значения Y_{ij} для различных вариантов

Вар. № 1		Вар. № 2		Вар. № 3		Вар. № 4		Вар. № 5		Вар. № 6		Вар. № 7		Вар. № 8		Вар. № 9		Вар. № 10	
1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.
620	630	730	740	845	855	545	555	435	445	325	335	425	435	520	530	620	630	725	735
655	643	765	753	880	860	580	560	480	460	370	350	470	450	560	545	670	645	775	740
695	670	805	780	920	900	620	600	510	500	400	390	500	490	605	595	705	695	800	790
670	695	780	800	900	915	600	615	510	500	400	385	500	485	605	590	705	690	805	790
720	715	830	825	945	935	645	635	535	525	425	415	525	515	620	610	720	710	820	805
700	697	810	820	925	935	625	635	515	525	405	415	505	515	600	620	700	720	795	820
740	714	850	825	965	940	665	640	555	530	445	420	545	520	640	615	740	715	840	815
780	796	890	910	1005	1020	705	720	605	625	495	515	595	615	695	715	795	815	895	910

Вар. № 11		Вар. № 12		Вар. № 13		Вар. № 14		Вар. № 15		Вар. № 16		Вар. № 17		Вар. № 18		Вар. № 19		Вар. № 20	
1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.
635	650	635	640	525	540	415	440	620	630	730	740	845	855	545	555	435	445	325	335
665	635	645	635	555	535	465	435	655	643	765	753	880	860	580	560	480	460	370	350
710	690	715	690	615	595	515	485	695	670	805	780	920	900	620	600	510	500	400	390
705	685	705	685	600	585	505	495	670	695	780	800	900	915	600	615	510	500	400	385
720	705	720	705	615	605	510	505	720	715	830	825	945	935	645	635	535	525	425	415
685	710	695	720	595	620	495	525	700	697	810	820	925	935	625	635	515	525	405	415
710	715	720	725	625	605	525	500	740	714	850	825	965	940	665	640	555	530	445	420
785	805	795	805	685	705	580	605	780	796	890	910	1005	1020	705	720	605	625	495	515

Приложение 10

Значения $Y_{ш}$ для различных вариантов

Вар. № 1		Вар. № 2		Вар. № 3		Вар. № 4		Вар. № 5		Вар. № 6		Вар. № 7		Вар. № 8		Вар. № 9		Вар. № 10	
1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.
620	630	730	740	845	855	545	555	435	445	325	335	425	435	520	530	620	630	725	735
655	643	765	753	880	860	580	560	480	460	370	350	470	450	560	545	670	645	775	740
695	670	805	780	920	900	620	600	510	500	400	390	500	490	605	595	705	695	800	790
670	695	780	800	900	915	600	615	510	500	400	385	500	485	605	590	705	690	805	790
720	715	830	825	945	935	645	635	535	525	425	415	525	515	620	610	720	710	820	805
700	697	810	820	925	935	625	635	515	525	405	415	505	515	600	620	700	720	795	820
740	714	850	825	965	940	665	640	555	530	445	420	545	520	640	615	740	715	840	815
780	796	890	910	1005	1020	705	720	605	625	495	515	595	615	695	715	795	815	895	910
810	800	920	910	1035	1025	735	720	635	615	525	505	625	605	725	705	825	805	925	910

Вар. № 11		Вар. № 12		Вар. № 13		Вар. № 14		Вар. № 15		Вар. № 16		Вар. № 17		Вар. № 18		Вар. № 19		Вар. № 20	
1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.	1-я пов.	2-я пов.
635	650	635	640	525	540	415	440	620	630	730	740	845	855	545	555	435	445	325	335
665	635	645	635	555	535	465	435	655	643	765	753	880	860	580	560	480	460	370	350
710	690	715	690	615	595	515	485	695	670	805	780	920	900	620	600	510	500	400	390
705	685	705	685	600	585	505	495	670	695	780	800	900	915	600	615	510	500	400	385
720	705	720	705	615	605	510	505	720	715	830	825	945	935	645	635	535	525	425	415
685	710	695	720	595	620	495	525	700	697	810	820	925	935	625	635	515	525	405	415
710	715	720	725	625	605	525	500	740	714	850	825	965	940	665	640	555	530	445	420
785	805	795	805	685	705	580	605	780	796	890	910	1005	1020	705	720	605	625	495	515
825	805	815	805	710	705	615	600	810	800	920	910	1035	1025	735	720	635	615	525	505

<http://belspin.vstu.by>