

ПРОГНОЗНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КАЧЕСТВА ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

© 2011 И.Ю. Шумских¹, С.В. Тюлеви², М.Н. Пиганов¹

¹ Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика
С.П. Королева (национальный исследовательский университет)

² ФГУП «ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс»

Поступила в редакцию 25.11.2011

Приведены результаты построения прогнозных моделей качества паяных соединений печатных узлов на основе припойных паст Indium. Для построения моделей были использованы регрессионный и программный комплекс «Прогнозирование 1.3». Рассмотрены три приема преобразования результатов обучающего эксперимента: нормирование и центрирование контролируемых параметров, нормирование по математическому ожиданию, нормирование по дисперсии. Проведено исследование и дана сравнительная оценка математических моделей.

Ключевые слова: *математическая модель, прогноз, паяные соединения, печатный узел, регрессия, обучение, эффективность прогнозирования*

Проблема повышения качества и надежности изделий современной радиоэлектроники является в настоящее время наиболее актуальной и охватывает все области их изготовления и применения. Ее решение является основой технического процесса в радиоэлектронике. Комплексная микроминиатюризация радиоэлектронных средств (РЭС) и особенно внедрение микроэлектронной технологии позволили значительно уменьшить массу и габариты устройств при одновременном повышении надежности. Уменьшение габаритов, уплотнение монтажа и компоновки устройств заметно ограничили возможности свободного доступа и контроля элементов и узлов аппаратуры. С другой стороны, в ряде случаев контроль качества РЭС и комплектующих электрорадиоизделий (ЭРИ) в условиях, близких к реальным, например, в условиях повышенной радиации, требует значительных материальных затрат. Кроме того, проведение на предприятиях-изготовителях сплошного входного контроля качества изделий электронной техники большой степени интеграции и многофункционального назначения является достаточно дорогостоящим мероприятием. Поэтому для повышения экономической эффективности контроля качества РЭС и ЭРИ определяющую роль играют прогностические способы диагностики и прогнозирования их будущего состояния.

Одним из перспективных направлений в разработке эффективных и экономически приемлемых методов оценки качества и надежности РЭС и ЭРИ является индивидуальное прогнозирование их будущего состояния [1-5]. Наименьшие затраты времени при индивидуальном прогнозировании обеспечивают методы теории распознавания образов [3]. Если число информативных параметров превышает два, то целесообразно использовать метод регрессионных моделей (регрессионный метод) [6].

Методика построения моделей. Индивидуальное прогнозирование с использованием методов теории распознавания образов включает следующие основные этапы: обучающий эксперимент, обучение, экзамен и собственно прогнозирование. Процедура обучающего эксперимента для паяных соединений (ПС) на основе припойных паст Indium NC-SMQ92J рассмотрена в предыдущей работе. В ней для прогнозирования качества ПС было рекомендовано три информативных параметра: вязкость (X1), клейкость (X2) и кислотное число (X3). Для построения прогнозных моделей проведем обучение и экзамен. Выберем регрессионный метод, т.к. число информативных параметров больше двух. В качестве прогнозируемого параметра будем использовать поверхностное сопротивление изоляции (Y).

Обучение заключалось в обработке результатов обучающего эксперимента в соответствии с выбранным оператором прогнозирования. Теоретические основы и математический аппарат для данного этапа описаны в [7]. Построение моделей проводилось с использованием программного комплекса «Прогнозирование 1.3» [8]. В процессе обработки результатов обучающего эксперимента

Шумских Илья Юрьевич, аспирант. E-mail: il815@mail.ru

Тюлеви Сергей Викторович, кандидат технических наук, первый заместитель генерального директора - главный инженер. E-mail: mail@samspace.ru

Пиганов Михаил Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой конструирования и производства радиоэлектронных средств. E-mail: piganov@ssau.ru

был сделан переход от оперирования со значениями информативных параметров к разностям этих значений и проведено нормирование и центрирование контролируемых информативных параметров, а также нормирование по математическому ожиданию и дисперсии. При установлении

граничного значения прогнозируемого параметра поверхностное сопротивление изоляции, равного $1 \cdot 10^9$ Ом, выявлен фактический класс годности каждого экземпляра: годные – 1, не годные – 2 (табл. 1). В табл. 2 представлены преобразованные данные по нормировке и центрированию.

Таблица 1. Результаты обучающего эксперимента

Класс годности	Поверхностное сопротивление изоляции, 10^9 Ом	Вязкость, Па·с	Клейкость, г	Кислотное число, мг КОН
1	2,8	195	39	112
2	0,8	201	41	108
2	0,7	205	43	106
2	0,5	211	45	101
1	2,9	190	38	112
1	2,2	199	39	111
1	3,5	181	36	112
2	0,9	204	41	110
1	3,3	176	35	113
1	3,0	179	36	112
2	0,5	208	42	100
1	3,3	159	32	114
1	2,4	164	34	113
1	3,8	185	37	112
2	0,9	202	40	109
1	2,9	195	39	111
2	0,8	204	43	107
1	3,7	190	38	112
1	4,0	191	38	112
2	0,6	206	45	105
1	4,2	186	37	112
1	3,8	183	37	112
2	0,9	204	41	110
2	0,7	206	43	107
1	3,5	180	36	113
2	0,5	211	45	102
1	3,2	191	38	112
1	3,8	175	35	113
2	0,8	202	42	108
1	3,9	178	35	113
2	0,7	204	43	106
1	3,2	190	36	113
1	2,5	194	37	112
2	0,8	204	42	107
1	3,2	187	36	113
1	2,6	179	35	113
2	0,5	211	45	100
1	3,0	169	35	113
1	3,2	185	36	113
1	3,6	192	37	112
2	0,8	207	43	107
1	3,1	184	36	113
2	0,8	201	41	108
1	3,5	193	37	113
1	2,8	168	35	113
1	3,5	187	36	112
2	0,9	200	40	109
1	2,9	192	37	112
2	0,5	212	46	101
2	0,7	205	44	106

Таблица 2. Преобразованные данные по нормировке и центрированию

№	Y	X1	X2	X3	Y	Y*	dY
1	0,4332	0,1891	0,0169	0,5669	2,8	2,4456	0,3544
2	-1,0921	0,6429	0,5806	-0,4638	0,8	1,6123	-0,8123
2	-1,1684	0,9455	1,1443	-0,9792	0,7	0,9310	-0,2310
2	-1,3209	1,3993	1,7080	-2,2675	0,5	0,0082	0,4919
1	0,5094	-0,1891	-0,2649	0,5669	2,9	2,6566	0,2434
1	-0,0244	0,4917	0,0169	0,3092	2,2	2,4099	-0,2099
1	0,9670	-0,8699	-0,8286	0,5669	3,5	3,0919	0,4081
2	-1,0158	0,8699	0,5806	0,0515	0,9	1,8314	-0,9314
1	0,8145	-1,2481	-1,1105	0,8246	3,3	3,3923	-0,0923
1	0,5857	-1,0211	-0,8286	0,5669	3	3,0651	-0,0651
2	-1,3209	1,1724	0,8625	-2,5252	0,5	0,7126	-0,2126
1	0,8145	-2,5339	-1,9560	1,0822	3,3	4,0878	-0,7878
1	0,1281	-2,1557	-1,3923	0,8246	2,4	3,5094	-1,1094
1	1,1958	-0,5673	-0,5468	0,5669	3,8	2,8676	0,9324
2	-1,0158	0,7186	0,2988	-0,2061	0,9	1,9932	-1,0932
1	0,5094	0,1891	0,0169	0,3092	2,9	2,3562	0,5438
2	-1,0921	0,8699	1,1443	-0,7215	0,8	1,0070	-0,2070
1	1,1196	-0,1891	-0,2649	0,5669	3,7	2,6566	1,0434
1	1,3483	-0,1135	-0,2649	0,5669	4	2,6700	1,3300
2	-1,2446	1,0211	1,7080	-1,2368	0,6	0,2988	0,3012
1	1,5009	-0,4917	-0,5468	0,5669	4,2	2,8810	1,3190
1	1,1958	-0,7186	-0,5468	0,5669	3,8	2,8407	0,9593
2	-1,0158	0,8699	0,5806	0,0515	0,9	1,8314	-0,9314
2	-1,1684	1,0211	1,1443	-0,7215	0,7	1,0338	-0,3338
1	0,9670	-0,9455	-0,8286	0,8246	3,5	3,1680	0,3320
2	-1,3209	1,3993	1,7080	-2,0099	0,5	0,0976	0,4024
1	0,7382	-0,1135	-0,2649	0,5669	3,2	2,6700	0,5300
1	1,1958	-1,3237	-1,1105	0,8246	3,8	3,3789	0,4211
2	-1,0921	0,7186	0,8625	-0,4638	0,8	1,3476	-0,5476
1	1,2721	-1,0968	-1,1105	0,8246	3,9	3,4192	0,4808
2	-1,1684	0,8699	1,1443	-0,9792	0,7	0,9175	-0,2175
1	0,7382	-0,1891	-0,8286	0,8246	3,2	3,3021	-0,1021
1	0,2044	0,1135	-0,5468	0,5669	2,5	2,9883	-0,4883
2	-1,0921	0,8699	0,8625	-0,7215	0,8	1,2850	-0,4850
1	0,7382	-0,4160	-0,8286	0,8246	3,2	3,2619	-0,0619
1	0,2807	-1,0211	-1,1105	0,8246	2,6	3,4326	-0,8326
2	-1,3209	1,3993	1,7080	-2,5252	0,5	-0,0813	0,5813
1	0,5857	-1,7775	-1,1105	0,8246	3	3,2984	-0,2984
1	0,7382	-0,5673	-0,8286	0,8246	3,2	3,2351	-0,0351
1	1,0433	-0,0378	-0,5468	0,5669	3,6	2,9615	0,6385
2	-1,0921	1,0968	1,1443	-0,7215	0,8	1,0472	-0,2472
1	0,6620	-0,6429	-0,8286	0,8246	3,1	3,2216	-0,1216
2	-1,0921	0,6429	0,5806	-0,4638	0,8	1,6123	-0,8123
1	0,9670	0,0378	-0,5468	0,8246	3,5	3,0643	0,4357
1	0,4332	-1,8532	-1,1105	0,8246	2,8	3,2850	-0,4850
1	0,9670	-0,4160	-0,8286	0,5669	3,5	3,1724	0,3276
2	-1,0158	0,5673	0,2988	-0,2061	0,9	1,9663	-1,0663
1	0,5094	-0,0378	-0,5468	0,5669	2,9	2,9615	-0,0615
2	-1,3209	1,4750	1,9899	-2,2675	0,5	-0,2565	0,7565
2	-1,1684	0,9455	1,4262	-0,9792	0,7	0,6529	0,0471
MO:	-7,11E-17	-1,55E-17	6,17E-16	7,11E-16	2,232	2,232	5,53E-16
DIS:	1	1	1	1	1,7194	1,3229	0,3965
SKO:	1	1	1	1	1,3112	1,1502	0,6297

На рис. 1 приведена зависимость вероятностных характеристик от порога регрессионной функции П для первого приема преобразования данных. Из рисунка видно, что при П>4,1 риск изготовителя равен нулю. Минимальное значение

риска потребителя равно 0,39 при П=4,1-4,7. Минимальное значение вероятности ошибки составляет 0,39 при П=4,15-4,7. В табл. 3 представлены преобразованные данные по нормировке математического ожидания (МО) признаков.

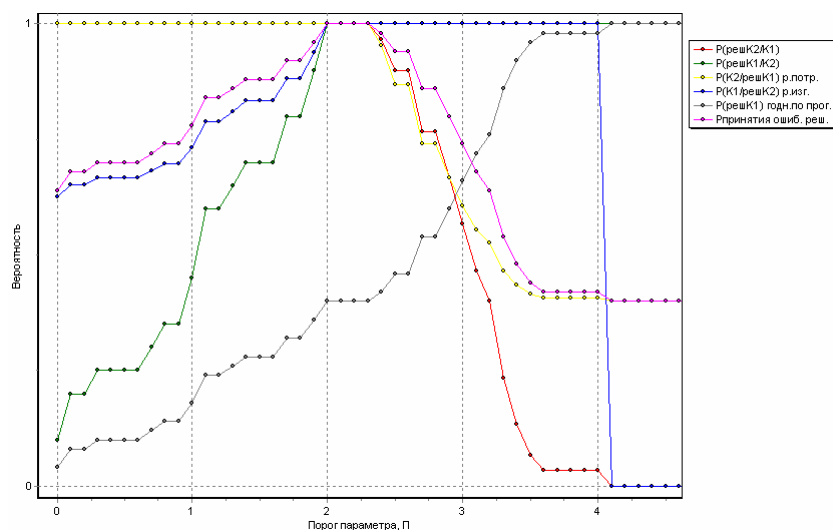


Рис. 1. Влияние порога регрессионной функции на эффективность прогнозной модели при нормировке и центрировании

Таблица 3. Преобразованные данные по нормировке МО

№	Y	X1	X2	X3	Y	Y*	dY
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1,2545	1,0130	1,0015	1,0200	2,8	5,8415	-3,0415
2	0,3584	1,0442	1,0529	0,9836	0,8	-3,2387	4,0387
2	0,3136	1,0649	1,1043	0,9654	0,7	-9,4236	10,1236
2	0,2240	1,0961	1,1556	0,9199	0,5	-20,0643	20,5643
1	1,2993	0,9870	0,9759	1,0200	2,9	7,0352	-4,1352
1	0,9857	1,0338	1,0015	1,0109	2,2	4,7323	-2,5323
1	1,5681	0,9403	0,9245	1,0200	3,5	9,5352	-6,0352
2	0,4032	1,0597	1,0529	1,0018	0,9	0,2206	0,6794
1	1,4785	0,9143	0,8988	1,0291	3,3	12,2893	-8,9893
1	1,3441	0,9299	0,9245	1,0200	3	9,3096	-6,3096
2	0,2240	1,0805	1,0786	0,9108	0,5	-16,6903	17,1903
1	1,4785	0,8260	0,8218	1,0383	3,3	17,2050	-13,9050
1	1,0753	0,8520	0,8731	1,0291	2,4	12,6933	-10,2933
1	1,7025	0,9610	0,9502	1,0200	3,8	8,2288	-4,4288
2	0,4032	1,0494	1,0272	0,9927	0,9	0,1921	0,7079
1	1,2993	1,0130	1,0015	1,0109	2,9	4,2811	-1,3811
2	0,3584	1,0597	1,1043	0,9745	0,8	-7,9760	8,7760
1	1,6577	0,9870	0,9759	1,0200	3,7	7,0352	-3,3352
1	1,7921	0,9922	0,9759	1,0200	4	7,1479	-3,1479
2	0,2688	1,0701	1,1556	0,9563	0,6	-14,3865	14,9865
1	1,8817	0,9662	0,9502	1,0200	4,2	8,3416	-4,1416
1	1,7025	0,9507	0,9502	1,0200	3,8	8,0032	-4,2032
2	0,4032	1,0597	1,0529	1,0018	0,9	0,2206	0,6794
2	0,3136	1,0701	1,1043	0,9745	0,7	-7,7504	8,4504
1	1,5681	0,9351	0,9245	1,0291	3,5	10,9829	-7,4829
2	0,2240	1,0961	1,1556	0,9290	0,5	-18,5039	19,0039
1	1,4337	0,9922	0,9759	1,0200	3,2	7,1479	-3,9479
1	1,7025	0,9091	0,8988	1,0291	3,8	12,1765	-8,3765
2	0,3584	1,0494	1,0786	0,9836	0,8	-4,8835	5,6835
1	1,7473	0,9247	0,8988	1,0291	3,9	12,5149	-8,6149
2	0,3136	1,0597	1,1043	0,9654	0,7	-9,5364	10,2364
1	1,4337	0,9870	0,9245	1,0291	3,2	12,1108	-8,9108
1	1,1201	1,0078	0,9502	1,0200	2,5	9,2439	-6,7439
2	0,3584	1,0597	1,0786	0,9745	0,8	-6,2184	7,0184
1	1,4337	0,9714	0,9245	1,0291	3,2	11,7724	-8,5724
1	1,1649	0,9299	0,8988	1,0291	2,6	12,6277	-10,0277
2	0,2240	1,0961	1,1556	0,9108	0,5	-21,6248	22,1248
1	1,3441	0,8779	0,8988	1,0291	3	11,4997	-8,4997
1	1,4337	0,9610	0,9245	1,0291	3,2	11,5468	-8,3468
1	1,6129	0,9974	0,9502	1,0200	3,6	9,0184	-5,4184

Продолжение таблицы 3

1							
2	0,3584	1,0753	1,1043	0,9745	0,8	-7,6376	8,4376
1	1,3889	0,9558	0,9245	1,0291	3,1	11,4340	-8,3340
2	0,3584	1,0442	1,0529	0,9836	0,8	-3,2387	4,0387
1	1,5681	1,0026	0,9502	1,0291	3,5	10,6916	-7,1916
1	1,2545	0,8727	0,8988	1,0291	2,8	11,3869	-8,5869
1	1,5681	0,9714	0,9245	1,0200	3,5	10,2120	-6,7120
2	0,4032	1,0390	1,0272	0,9927	0,9	-0,0335	0,9335
1	1,2993	0,9974	0,9502	1,0200	2,9	9,0184	-6,1184
2	0,2240	1,1013	1,1813	0,9199	0,5	-21,7091	22,2091
2	0,3136	1,0649	1,1299	0,9654	0,7	-11,1812	11,8812
MO:	1	1	1	1	2,232	2,232	1,07E-15
DIS:	0,3451	0,0047	0,0083	0,0012	1,7194	114,6280	91,8665
SKO:	0,5875	0,0687	0,0911	0,0353	1,3112	10,7064	9,5847

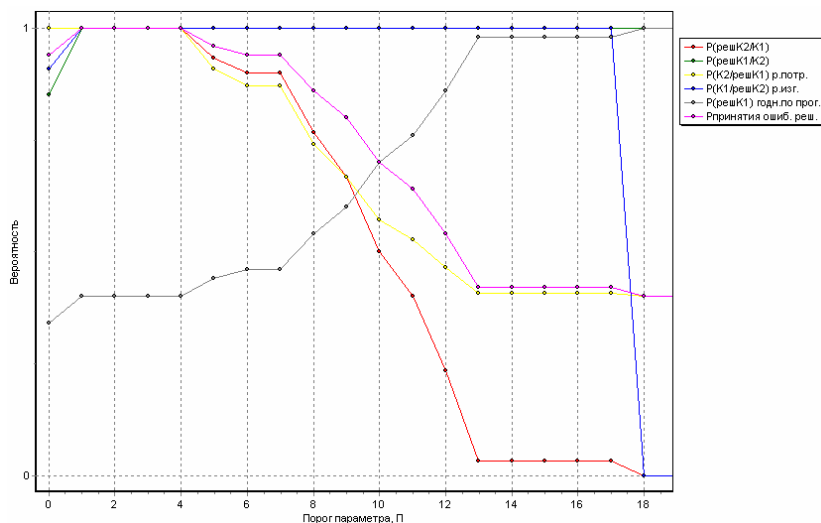


Рис. 2. Влияние порога регрессионной функции на эффективность прогнозной модели при нормировке

На рис. 2 приведена аналогичная зависимость для второго приема преобразования данных. Как видно из данного рисунка минимальное значение риска потребителя также равно 0,39, но уже

при $\Pi=18-20$, а риск изготовителя равен нулю при $\Pi>18$. Вероятность ошибки при $\Pi=18-20$ равна 0,39. В табл. 4 представлены преобразованные данные по нормировке дисперсии признаков.

Таблица 4. Преобразованные данные по нормировке дисперсии

№	Y	X1	X2	X3	Y	Y*	dY
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1,6285	1,1157	3,0982	7,4363	2,8	3,1314	-0,3314
2	0,4653	1,1500	3,2570	7,1707	0,8	1,3425	-0,5425
2	0,4071	1,1729	3,4159	7,0379	0,7	-0,1566	0,8566
2	0,2908	1,2072	3,5748	6,7060	0,5	-2,2234	2,7234
1	1,6867	1,0871	3,0187	7,4363	2,9	3,2043	-0,3043
1	1,2795	1,1385	3,0982	7,3699	2,2	3,3854	-1,1854
1	2,0356	1,0356	2,8598	7,4363	3,5	3,4829	0,0171
2	0,5235	1,1671	3,2570	7,3035	0,9	2,2971	-1,3971
1	1,9193	1,0070	2,7804	7,5027	3,3	3,8336	-0,5336
1	1,7448	1,0241	2,8598	7,4363	3	3,2170	-0,2170
2	0,2908	1,1900	3,3365	6,6396	0,5	-0,6873	1,1873
1	1,9193	0,9097	2,5421	7,5691	3,3	4,0640	-0,7640
1	1,3959	0,9383	2,7010	7,5027	2,4	2,9757	-0,5757
1	2,2101	1,0584	2,9393	7,4363	3,8	3,2771	0,5229
2	0,5235	1,1557	3,1776	7,2371	0,9	2,4909	-1,5909
1	1,6867	1,1157	3,0982	7,3699	2,9	2,8536	0,0464
2	0,4653	1,1671	3,4159	7,1043	0,8	-0,0117	0,8117
1	2,1520	1,0871	3,0187	7,4363	3,7	3,2043	0,4957

Продолжение таблицы 3							
1	2	3	4	5	6	7	8
1	2,3264	1,0928	3,0187	7,4363	4	3,3372	0,6628
2	0,3490	1,1786	3,5748	6,9715	0,6	-1,7767	2,3767
1	2,4428	1,0642	2,9393	7,4363	4,2	3,4100	0,7900
1	2,2101	1,0470	2,9393	7,4363	3,8	3,0112	0,7888
2	0,5235	1,1671	3,2570	7,3035	0,9	2,2971	-1,3971
2	0,4071	1,1786	3,4159	7,1043	0,7	0,2542	0,4458
1	2,0356	1,0298	2,8598	7,5027	3,5	3,6278	-0,1278
2	0,2908	1,2072	3,5748	6,7724	0,5	-1,9455	2,4455
1	1,8612	1,0928	3,0187	7,4363	3,2	3,3372	-0,1372
1	2,2101	1,0012	2,7804	7,5027	3,8	3,7006	0,0994
2	0,4653	1,1557	3,3365	7,1707	0,8	0,7379	0,0621
1	2,2683	1,0184	2,7804	7,5027	3,9	4,0995	-0,1995
2	0,4071	1,1671	3,4159	7,0379	0,7	-0,2896	0,9896
1	1,8612	1,0871	2,8598	7,5027	3,2	4,9573	-1,7573
1	1,4540	1,1099	2,9393	7,4363	2,5	4,4737	-1,9737
2	0,4653	1,1671	3,3365	7,1043	0,8	0,7259	0,0741
1	1,8612	1,0699	2,8598	7,5027	3,2	4,5584	-1,3584
1	1,5122	1,0241	2,7804	7,5027	2,6	4,2324	-1,6324
2	0,2908	1,2072	3,5748	6,6396	0,5	-2,5013	3,0013
1	1,7448	0,9669	2,7804	7,5027	3	2,9029	0,0971
1	1,8612	1,0584	2,8598	7,5027	3,2	4,2925	-1,0925
1	2,0938	1,0985	2,9393	7,4363	3,6	4,2078	-0,6078
2	0,4653	1,1843	3,4159	7,1043	0,8	0,3872	0,4128
1	1,8030	1,0527	2,8598	7,5027	3,1	4,1596	-1,0596
2	0,4653	1,1500	3,2570	7,1707	0,8	1,3425	-0,5425
1	2,0356	1,1042	2,9393	7,5027	3,5	4,6186	-1,1186
1	1,6285	0,9612	2,7804	7,5027	2,8	2,7699	0,0301
1	2,0356	1,0699	2,8598	7,4363	3,5	4,2806	-0,7806
2	0,5235	1,1443	3,1776	7,2371	0,9	2,2250	-1,3250
1	1,6867	1,0985	2,9393	7,4363	2,9	4,2078	-1,3078
2	0,2908	1,2129	3,6542	6,7060	0,5	-2,8280	3,3280
2	0,4071	1,1729	3,4954	7,0379	0,7	-0,8942	1,5942
MO:	1,30E+00	1,10E+00	3,09E+00	7,29E+00	2,232	2,232	-3,18E-15
DIS:	0,5816	0,0057	0,0794	0,0664	1,7194	4,5931	1,5820
SKO:	0,7626	0,0756	0,2819	0,2577	1,3112	2,1431	1,2578

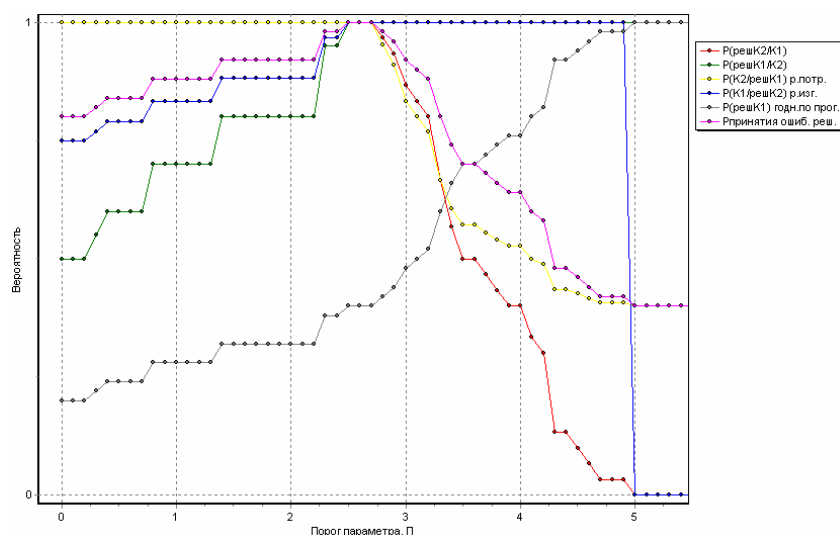


Рис. 3. Влияние порога регрессионной функции на эффективность прогнозной модели при дисперсии

Из рис. 3, на котором приведена зависимость для третьего приема преобразования данных, видно что риск потребителя равен 0,37 при $\Pi=5-6$. Риск изготовителя при этом достигает

нуля при $\Pi>5$. Вероятность ошибки равна 0,37 при $\Pi=5-6$.

По результатам обучения были построены следующие прогнозные модели:

- для первого приема преобразования данных (нормирование и центрирование):

$$Y(X)=0,6555+0,0134X1 - 0,2780X2+0,0894X3;$$

- для второго приема преобразования данных (нормирование по математическому ожиданию):

$$Y(X)= -122,3774+0,1127X - 7576X2+1,5604X3;$$

- для третьего приема преобразования данных (нормирование по дисперсии):

$$Y(X)=-25,1492+0,1329X1 - ,7376X2+0,2778X3$$

Экзамен. Экзамен, как правило, состоит в оценке ошибки прогнозирования, вероятности правильных решений, рисков потребителя и изготовителя [9]. В ряде случаев оценивают и проверяют на соответствие требованиям ряд других характеристик [10]. Проведем исследование и анализ полученных моделей. Для этого воспользуемся программным комплексом «Прогнозирование 1.3». На рис. 1 приведена зависимость вероятностных характеристик от порога регрессионной функции П для первого приема преобразования данных.

Выводы:

1. Построены прогнозные модели качества паяных соединений (ПС).

2. Проведено прогнозирование регрессионным методом качества паяных соединений используя все признаки паяльных паст. Было произведено нормирование и центрирование данных выборки, их нормировка по математическому ожиданию и дисперсии признаков. Наименьшую дисперсию ошибки имеет первый метод. Наиболее информативным оказался параметр X3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Чуев, Ю.В. Прогнозирование количественных характеристик процессов / Ю.В. Чуев, Ю.Б. Михайлов, В.И. Кузьмин. – М.: Сов. радио, 1975. 400 с.
2. Гаскаров, Д.В. Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры / Д.В. Гаскаров, Т.А. Голинкевич, А.В. Мозгалевский. – М.: Сов. радио, 1974. 224 с.
3. Пиганов, М.Н. Прогнозирование надежности радиоэлектронных средств / М.Н. Пиганов, С.В. Тюлевин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2009. №1 (72). С. 174-180.
4. Тюлевин, С.В. Структурная модель индивидуального прогнозирования параметров космической аппаратуры / С.В. Тюлевин, М.Н. Пиганов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2008. № 1. С. 92-96.
5. Пиганов, М.Н. Индивидуальное прогнозирование стабильности элементов микросборок / М.Н. Пиганов, О.В. Карпов // Надежность и качество: Труды международного симпозиума. – Пенза: ПГУ, 2001. С. 334-337.
6. Тюлевин, С.В. Структурная модель индивидуального прогнозирования параметров космической аппаратуры / С.В. Тюлевин, М.Н. Пиганов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2008. № 1. С. 92-96.
7. Пиганов, М.Н. Индивидуальное прогнозирование показателей качества элементов и компонентов микросборок / М.Н. Пиганов. – М.: Новые технологии, 2002. 267 с.
8. Пиганов, М.Н. Прогнозирование надежности радиоэлектронных средств / М.Н. Пиганов, С.В. Тюлевин // Перспективы развития телекоммуникационных систем и информационные технологии: Труды междунар. конф. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. С. 423-440.
9. Пиганов, М.Н. Индивидуальное прогнозирование показателей качества элементов микросборок / М.Н. Пиганов. – Самара: СГАУ, 1999. 160 с.
10. Пиганов, М.Н. Технологические основы обеспечения качества микросборок / М.Н. Пиганов. – Самара: СГАУ, 1999. 231 с.

FORECASTING MATHEMATICAL MODELS OF SPACE EQUIPMENT PRINTED CIRCUIT ASSEMBLES QUALITY

© 2011 I.Yu. Shumskih¹, S.V.Tyulevin², M.N. Piganov¹

¹ Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University)

² State Research and Production Space Rocket Center “CSCB-Progress”

Effects of build-up the forecasting models of quality pf soldered linkings of printed circuit assemblies on the base of solder pastes Indium are given. For build-up the models have been used regressive and software complex «Forecasting 1.3». Three receptions of transformation the effects of training experiment are viewed: valuation and centering of controllable parametres, valuation on ensemble average, valuation on variance. Examination is conducted and the comparative estimate of mathematical models is given.

Key words: *mathematical model, forecast, soldered linkings, printed circuit assemblies, regression, training, forecasting effectiveness*

Iliya Shumskih, Post-graduate Student. E-mail: il815@mail.ru
 Sergey Tyulevin, Candidate of Technical Sciences, Cities Deputy General Director – Chief Engeneer. E-mail: mail@samspace.ru
 Mikhail Piganov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Construction and Manufacture of Radioelectronic Devices Department. E-mail: piganov@ssau.ru