

## ПРОГНОЗНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КАЧЕСТВА ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

© 2011 И.Ю. Шумских<sup>1</sup>, С.В. Тюлевин<sup>2</sup>, М.Н. Пиганов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика  
С.П. Королева (национальный исследовательский университет)

<sup>2</sup> 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*

*Тюлевин 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.

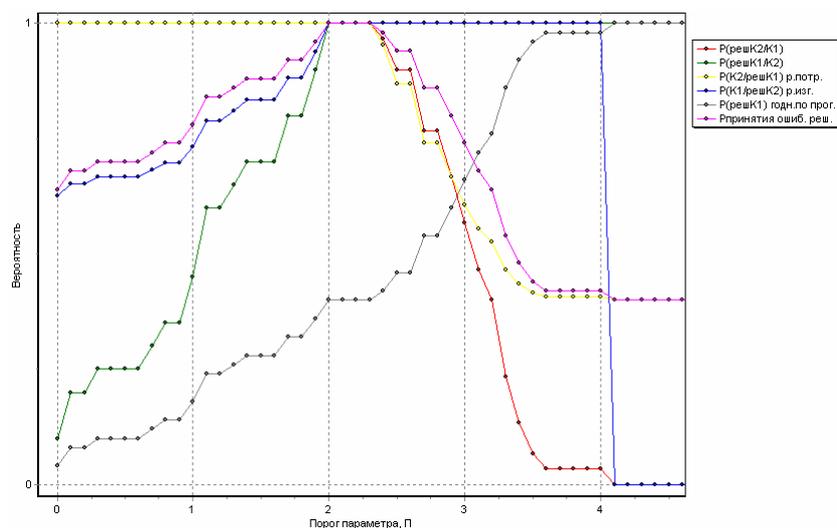


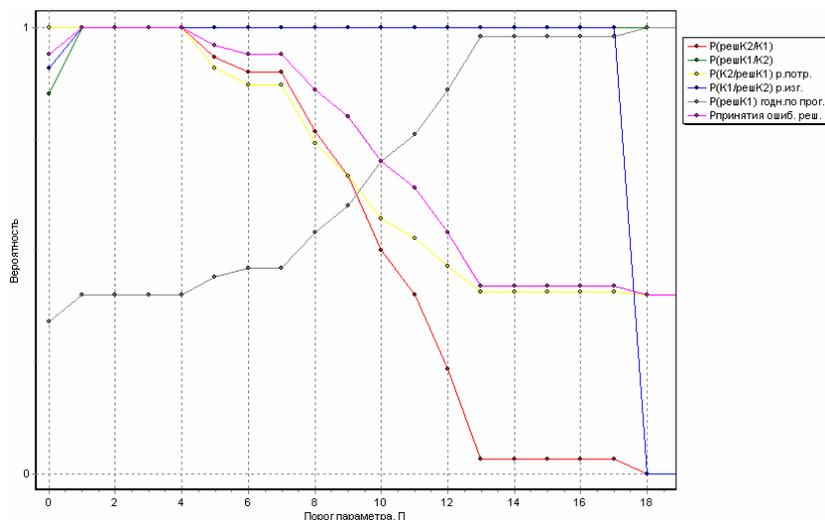
Рис. 1. Влияние порога регрессионной функции на эффективность прогнозной модели при нормировке и центрировании

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

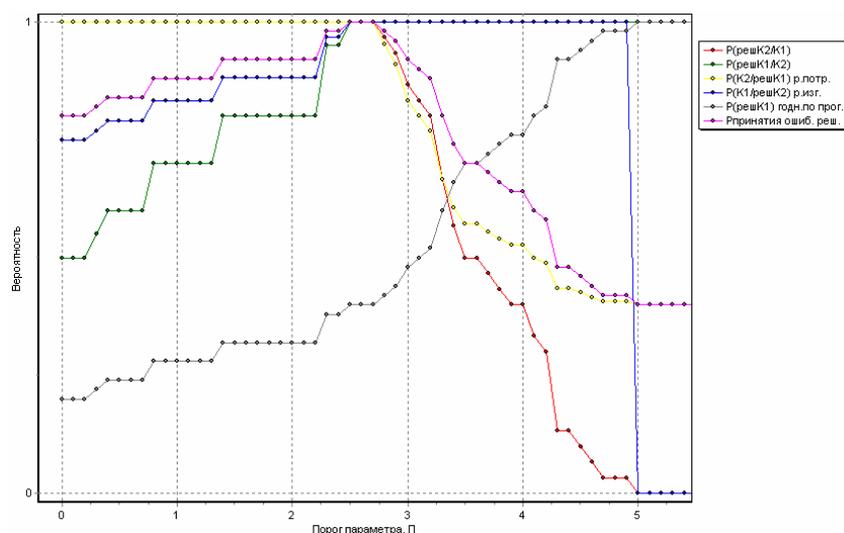
На рис. 2 приведена аналогичная зависимость для второго приема преобразования данных. Как видно из данного рисунка минимальное значение риска потребителя также равно 0,39, но уже

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. Shumskih<sup>1</sup>, S.V.Tyulevin<sup>2</sup>, M.N. Piganov<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> 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