

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ УЗЛОВ

© 2011 И. Ю. Шумских

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

Приведены результаты построения прогнозных моделей качества паяных соединений печатных узлов на основе припойных паст Solder XF3+. Для построения моделей были использованы регрессионный и программный комплекс «Прогнозирование 1.3». Рассмотрены три приёма преобразования результатов обучающего эксперимента: нормирование и центрирование контролируемых параметров, нормирование по математическому ожиданию, нормирование по дисперсии. Проведено исследование и дана сравнительная оценка математических моделей.

Математическая модель, прогноз, преобразование параметров, паяные соединения, печатный узел, регрессия, обучение, эффективность прогнозирования.

Введение

Современный этап развития радиоэлектроники и телекоммуникационных систем характеризуется обострением проблемы надежности вследствие усложнения радиоэлектронных средств (РЭС), выражающегося как в резком увеличении количества используемых элементов и блоков, в появлении качественно новых ответственных функций, возлагаемых человеком, так и в расширении условий работы. На аппаратуру различного назначения приходится действовать в условиях интенсификации режимов работы и выполнять различные функции [1]. В силу этих причин повышаются требования к точности и эффективности выполнения заданных функций не только системой в целом, но и каждым отдельным элементом.

Высокие достигнутые уровни надежности электрорадиоизделий (ЭРИ) космического назначения, трудности их подтверждения традиционными методами испытаний, а также определяющее влияние на надежность скрытых дефектов, не выявляемых существующей системой технологического контроля и приемочных испытаний, определило развитие работ по исследованию механизмов и причин отказов, разработке методик диагностического неразрушающего контроля, прогнозирования показателей качества.

Одним из перспективных направлений в разработке эффективных и экономически приемлемых методов оценки качества и на-

дежности РЭС и ЭРИ является индивидуальное прогнозирование их будущего состояния [2-5]. 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 Solder XF3+ 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 прогнози-

рования. 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 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.

За граничное значение прогнозируемого параметра (поверхностного сопротивления

изоляции) была принята величина $1 \cdot 10^9$ Ом. Был выявлен фактический класс годности каждого экземпляра: годные – 1, не годные – 2 (табл. 1).

В табл. 2 представлены преобразованные данные по нормировке и центрированию.

В табл. 3 представлены преобразованные данные по нормировке математического ожидания (МО) признаков.

В табл. 4 представлены преобразованные данные по нормировке дисперсии признаков.

Таблица 1. Результаты обучающего эксперимента

Класс годности	Поверхностное сопротивление изоляции, 10^9 Ом	Вязкость, Па·с	Клейкость, г	Кислотное число, мг КОН
1	1,5	202	112	124
2	0,7	158	96	117
1	1,2	199	110	124
1	1,1	184	106	126
2	0,7	241	91	113
1	2,6	210	112	123
2	0,5	224	114	102
1	2,1	205	112	123
1	1,7	200	111	124
1	1,3	195	109	124
1	1,1	183	106	125
1	1,1	161	100	128
2	0,9	190	106	120
1	2,1	213	112	123
1	1,2	191	107	126
1	1,1	238	100	126
1	2,3	210	112	123
1	2,5	212	113	123
2	0,9	185	106	119
1	2,8	225	114	122
1	2,4	208	112	123
2	0,5	231	116	115
1	2,2	205	111	124
1	1,9	196	110	124
1	2,2	210	112	123

Таблица 1. Окончание

Класс годности	Поверхностное сопротивление изоляции, 10^9 Ом	Вязкость, Па·с	Клейкость, г	Кислотное число, мг КОН
2	0,5	238	117	111
1	1,2	198	111	124
1	2,3	213	112	123
1	1,5	196	109	124
2	0,5	245	90	110
2	0,7	239	95	115
1	1,2	181	105	126
2	0,3	242	92	109
1	1,5	201	112	124
1	1,5	200	112	124
2	0,8	231	104	119
1	1,2	195	109	125
1	2,2	210	112	123
2	0,9	227	105	120
1	2,1	211	112	123
2	0,8	229	104	117
2	0,7	233	102	115
1	1,3	195	108	124
1	2	204	111	123
2	0,5	230	104	113
1	2,2	220	114	122
1	2	215	112	123
2	0,9	229	114	119
1	1,5	199	110	124
1	1	192	105	120

Таблица 2. Преобразованные данные по нормировке и центрированию

№ кл.	Y1	X1	X2	X3	Y	Y*	dY
1	0,1521	-0,3463	0,6527	0,5950	1,5	1,7626	-0,2626
2	-1,0405	-2,5293	-1,8458	-0,7400	0,7	0,1786	0,5214
1	-0,2952	-0,4951	0,3404	0,5950	1,2	1,6533	-0,4533
1	-0,4442	-1,2393	-0,2842	0,9764	1,1	1,5177	-0,4177
2	-1,0405	1,5886	-2,6266	-1,5028	0,7	0,3281	0,3719
1	1,7918	0,0506	0,6527	0,4043	2,6	1,7495	0,8506
2	-1,3387	0,7452	0,9651	-3,6006	0,5	0,3076	0,1924
1	1,0465	-0,1975	0,6527	0,4043	2,1	1,7088	0,3912
1	0,4502	-0,4455	0,4966	0,5950	1,7	1,7039	-0,0039
1	-0,1461	-0,6936	0,1843	0,5950	1,3	1,5783	-0,2783
1	-0,4442	-1,2890	-0,2842	0,7857	1,1	1,4315	-0,3315
1	-0,4442	-2,3804	-1,2212	1,3578	1,1	1,2322	-0,1322

Таблица 2. Окончание

№ кл.	Y1	X1	X2	X3	Y	Y*	dY
2	-0,7424	-0,9417	-0,2842	-0,1678	0,9	1,0977	-0,1977
1	1,0465	0,1994	0,6527	0,4043	2,1	1,7738	0,3262
1	-0,2952	-0,8920	-0,1281	0,9764	1,2	1,6171	-0,4171
1	-0,4442	1,4398	-1,2212	0,9764	1,1	1,7016	-0,6016
1	1,3446	0,0506	0,6527	0,4043	2,3	1,7495	0,5506
1	1,6428	0,1498	0,8089	0,4043	2,5	1,8082	0,6918
2	-0,7424	-1,1897	-0,2842	-0,3585	0,9	0,9790	-0,0790
1	2,0900	0,7948	0,9651	0,2136	2,8	1,8782	0,9218
1	1,4937	-0,0486	0,6527	0,4043	2,4	1,7332	0,6668
2	-1,3387	1,0925	1,2774	-1,1214	0,5	1,4650	-0,9650
1	1,1956	-0,1975	0,4966	0,5950	2,2	1,7445	0,4555
1	0,7483	-0,6440	0,3404	0,5950	1,9	1,6289	0,2711
1	1,1956	0,0506	0,6527	0,4043	2,2	1,7495	0,4506
2	-1,3387	1,4398	1,4335	-1,8842	0,5	1,2519	-0,7519
1	-0,2952	-0,5448	0,4966	0,5950	1,2	1,6876	-0,4876
1	1,3446	0,1994	0,6527	0,4043	2,3	1,7738	0,5262
1	0,1521	-0,6440	0,1843	0,5950	1,5	1,5864	-0,0864
2	-1,3387	1,7871	-2,7828	-2,0749	0,5	0,0838	0,4162
2	-1,0405	1,4894	-2,0020	-1,1214	0,7	0,6380	0,0620
1	-0,2952	-1,3882	-0,4404	0,9764	1,2	1,4509	-0,2509
2	-1,6368	1,6382	-2,4704	-2,2656	0,3	0,0663	0,2338
1	0,1521	-0,3959	0,6527	0,5950	1,5	1,7545	-0,2545
1	0,1521	-0,4455	0,6527	0,5950	1,5	1,7463	-0,2463
2	-0,8915	1,0925	-0,5965	-0,3585	0,8	1,2678	-0,4678
1	-0,2952	-0,6936	0,1843	0,7857	1,2	1,6564	-0,4564
1	1,1956	0,0506	0,6527	0,4043	2,2	1,7495	0,4506
2	-0,7424	0,8940	-0,4404	-0,1678	0,9	1,3559	-0,4559
1	1,0465	0,1002	0,6527	0,4043	2,1	1,7576	0,3424
2	-0,8915	0,9933	-0,5965	-0,7400	0,8	1,0953	-0,2953
2	-1,0405	1,1917	-0,9089	-1,1214	0,7	0,8866	-0,1866
1	-0,1461	-0,6936	0,0281	0,5950	1,3	1,5358	-0,2358
1	0,8974	-0,2471	0,4966	0,4043	2	1,6582	0,3418
2	-1,3387	1,0429	-0,5965	-1,5028	0,5	0,7909	-0,2909
1	1,1956	0,5467	0,9651	0,2136	2,2	1,8375	0,3625
1	0,8974	0,2987	0,6527	0,4043	2	1,7901	0,2099
2	-0,7424	0,9933	0,9651	-0,3585	0,9	1,6763	-0,7763
1	0,1521	-0,4951	0,3404	0,5950	1,5	1,6533	-0,1533
1	-0,5933	-0,8424	-0,4404	-0,1678	1	1,0715	-0,0715
MO:	-1,5E-16	5,08E-16	1,04E-15	8,73E-16	1,398	1,398	-8,2E-16
DIS:	1	1	1	1	0,449	0,249	0,2000
SKO:	1	1	1	1	0,670	0,499	0,4473

Таблица 3. Преобразованные данные по нормировке MO

№ кл.	Y1	X1	X2	X3	Y	Y*	dY
1	1,0730	0,9666	1,0388	1,0258	1,5	2,8006	-1,3006

Таблица 3. Продолжение

№ кл.	Y1	X1	X2	X3	Y	Y*	dY
2	0,5007	0,7561	0,8904	0,9679	0,7	0,7919	-0,0919
1	0,8584	0,9522	1,0202	1,0258	1,2	2,4276	-1,2276
1	0,7868	0,8805	0,9831	1,0424	1,1	2,1052	-1,0052
2	0,5007	1,1532	0,8440	0,9348	0,7	-4,4475	5,1475
1	1,8598	1,0049	1,0388	1,0175	2,6	2,4218	0,1782
2	0,3577	1,0719	1,0573	0,8438	0,5	2,3320	-1,8320
1	1,5022	0,9810	1,0388	1,0175	2,1	2,6604	-0,5604
1	1,2160	0,9570	1,0295	1,0258	1,7	2,6380	-0,9380
1	0,9299	0,9331	1,0109	1,0258	1,3	2,3604	-1,0604
1	0,7868	0,8757	0,9831	1,0341	1,1	2,1559	-1,0559
1	0,7868	0,7704	0,9275	1,0589	1,1	1,6485	-0,5485
2	0,6438	0,9092	0,9831	0,9927	0,9	1,8367	-0,9367
1	1,5022	1,0192	1,0388	1,0175	2,1	2,2786	-0,1786
1	0,8584	0,9140	0,9924	1,0424	1,2	2,0293	-0,8293
1	0,7868	1,1389	0,9275	1,0424	1,1	-2,0202	3,1202
1	1,6452	1,0049	1,0388	1,0175	2,3	2,4218	-0,1218
1	1,7883	1,0145	1,0480	1,0175	2,5	2,5844	-0,0844
2	0,6438	0,8853	0,9831	0,9845	0,9	2,0782	-1,1782
1	2,0029	1,0767	1,0573	1,0093	2,8	2,2251	0,5749
1	1,7167	0,9953	1,0388	1,0175	2,4	2,5172	-0,1172
2	0,3577	1,1054	1,0759	0,9514	0,5	2,4756	-1,9756
1	1,5737	0,9810	1,0295	1,0258	2,2	2,3994	-0,1994
1	1,3591	0,9379	1,0202	1,0258	1,9	2,5708	-0,6708
1	1,5737	1,0049	1,0388	1,0175	2,2	2,4218	-0,2218
2	0,3577	1,1389	1,0851	0,9183	0,5	2,4115	-1,9115
1	0,8584	0,9475	1,0295	1,0258	1,2	2,7334	-1,5334
1	1,6452	1,0192	1,0388	1,0175	2,3	2,2786	0,0214
1	1,0730	0,9379	1,0109	1,0258	1,5	2,3127	-0,8127
2	0,3577	1,1724	0,8347	0,9100	0,5	-4,8876	5,3876
2	0,5007	1,1437	0,8811	0,9514	0,7	-3,3257	4,0257
1	0,8584	0,8661	0,9739	1,0424	1,2	1,9903	-0,7903
2	0,2146	1,1580	0,8533	0,9017	0,3	-4,2253	4,5253
1	1,0730	0,9618	1,0388	1,0258	1,5	2,8483	-1,3483
1	1,0730	0,9570	1,0388	1,0258	1,5	2,8960	-1,3960
2	0,5723	1,1054	0,9646	0,9845	0,8	-0,6331	1,4331
1	0,8584	0,9331	1,0109	1,0341	1,2	2,3575	-1,1575
1	1,5737	1,0049	1,0388	1,0175	2,2	2,4218	-0,2218
2	0,6438	1,0862	0,9739	0,9927	0,9	-0,1871	1,0871
1	1,5022	1,0097	1,0388	1,0175	2,1	2,3741	-0,2741
2	0,5723	1,0958	0,9646	0,9679	0,8	-0,5317	1,3317
2	0,5007	1,1149	0,9460	0,9514	0,7	-1,2328	1,9328
1	0,9299	0,9331	1,0017	1,0258	1,3	2,1024	-0,8024
1	1,4306	0,9762	1,0295	1,0175	2	2,4500	-0,4500
2	0,3577	1,1006	0,9646	0,9348	0,5	-0,5676	1,0676
1	1,5737	1,0527	1,0573	1,0093	2,2	2,4637	-0,2637

Таблица 3. Окончание

№ кл.	Y1	X1	X2	X3	Y	Y*	dY
1	1,4306	1,0288	1,0388	1,0175	2	2,1832	-0,1832
2	0,6438	1,0958	1,0573	0,9845	0,9	2,0431	-1,1431
1	1,0730	0,9522	1,0202	1,0258	1,5	2,4276	-0,9276
1	0,7153	0,9188	0,9739	0,9927	1	1,4832	-0,4832
MO:	1	1	1	1	1,398	1,398	-1,32E-15
DIS:	0,2302	0,0093	0,0035	0,0019	0,4500	4,0539	2,9966
SKO:	0,4798	0,0964	0,0594	0,0434	0,6708	2,0134	1,7311

Таблица 4. Преобразованные данные по нормировке дисперсии

№ кл.	Y1	X1	X2	X3	Y	Y*	dY
1	3,3334	0,4972	2,7312	4,5098	1,5	4,6778	-3,1778
2	1,5556	0,3889	2,3410	4,2552	0,7	12,4950	-11,7950
1	2,6667	0,4898	2,6824	4,5098	1,2	4,9326	-3,7326
1	2,4445	0,4529	2,5849	4,5826	1,1	8,0319	-6,9319
2	1,5556	0,5932	2,2191	4,1098	0,7	-12,9432	13,6432
1	5,7778	0,5169	2,7312	4,4735	2,6	2,3742	0,2258
2	1,1111	0,5514	2,7800	3,7097	0,5	-1,0070	1,5070
1	4,6667	0,5046	2,7312	4,4735	2,1	3,8153	-1,7153
1	3,7778	0,4923	2,7068	4,5098	1,7	4,9493	-3,2493
1	2,8889	0,4800	2,6580	4,5098	1,3	5,7806	-4,4806
1	2,4445	0,4505	2,5849	4,5462	1,1	8,3222	-7,2222
1	2,4445	0,3963	2,4386	4,6553	1,1	12,8271	-11,7271
2	2,0000	0,4677	2,5849	4,3644	0,9	6,3152	-5,4152
1	4,6667	0,5243	2,7312	4,4735	2,1	1,5096	0,5904
1	2,6667	0,4701	2,6093	4,5826	1,2	6,3194	-5,1194
1	2,4445	0,5858	2,4386	4,5826	1,1	-9,3613	10,4613
1	5,1112	0,5169	2,7312	4,4735	2,3	2,3742	-0,0742
1	5,5556	0,5218	2,7556	4,4735	2,5	2,1027	0,3973
2	2,0000	0,4554	2,5849	4,3280	0,9	7,7584	-6,8584
1	6,2223	0,5538	2,7800	4,4371	2,8	-1,3371	4,1371
1	5,3334	0,5120	2,7312	4,4735	2,4	2,9506	-0,5506
2	1,1111	0,5686	2,8287	4,1825	0,5	-2,4419	2,9419
1	4,8889	0,5046	2,7068	4,5098	2,2	3,5083	-1,3083
1	4,2223	0,4824	2,6824	4,5098	1,9	5,7973	-3,8973
1	4,8889	0,5169	2,7312	4,4735	2,2	2,3742	-0,1742
2	1,1111	0,5858	2,8531	4,0370	0,5	-4,1461	4,6461
1	2,6667	0,4874	2,7068	4,5098	1,2	5,5258	-4,3258
1	5,1112	0,5243	2,7312	4,4735	2,3	1,5096	0,7904
1	3,3334	0,4824	2,6580	4,5098	1,5	5,4923	-3,9923
2	1,1111	0,6031	2,1947	4,0007	0,5	-14,3947	14,8947
2	1,5556	0,5883	2,3166	4,1825	0,7	-11,1512	11,8512
1	2,6667	0,4455	2,5605	4,5826	1,2	8,5917	-7,3917
2	0,6667	0,5957	2,2435	3,9643	0,3	-12,9181	13,2181
1	3,3334	0,4948	2,7312	4,5098	1,5	4,9661	-3,4661
1	3,3334	0,4923	2,7312	4,5098	1,5	5,2543	-3,7543

Таблица 4. Окончание

№ кл.	Y1	X1	X2	X3	Y	Y*	dY
2	1,7778	0,5686	2,5361	4,3280	0,8	-6,1094	6,9094
1	2,6667	0,4800	2,6580	4,5462	1,2	5,7785	-4,5785
1	4,8889	0,5169	2,7312	4,4735	2,2	2,3742	-0,1742
2	2,0000	0,5588	2,5605	4,3644	0,9	-4,6537	5,5537
1	4,6667	0,5194	2,7312	4,4735	2,1	2,0860	0,0140
2	1,7778	0,5637	2,5361	4,2552	0,8	-5,5288	6,3288
2	1,5556	0,5735	2,4873	4,1825	0,7	-7,2874	7,9874
1	2,8889	0,4800	2,6337	4,5098	1,3	5,4756	-4,1756
1	4,4445	0,5021	2,7068	4,4735	2	3,7986	-1,7986
2	1,1111	0,5661	2,5361	4,1098	0,5	-5,8087	6,3087
1	4,8889	0,5415	2,7800	4,4371	2,2	0,1040	2,0960
1	4,4445	0,5292	2,7312	4,4735	2	0,9331	1,0669
2	2,0000	0,5637	2,7800	4,3280	0,9	-2,4837	3,3837
1	3,3334	0,4898	2,6824	4,5098	1,5	4,9326	-3,4326
1	2,2222	0,4726	2,5605	4,3644	1	5,4338	-4,4338
MO:	3,11E+00	5,14E-01	2,63E+00	4,40E+00	1,398	1,398	-1,08E-14
DIS:	2,2222	0,0024	0,0243	0,0363	0,4499	40,558	38,0692
SKO:	1,4907	0,0496	0,1561	0,1907	0,6708	6,3685	6,1700

По результатам обучения были построены следующие прогнозные модели:

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

$$Y(X) = -14,3231 + 0,0081X1 + 0,0425X2 + 0,0781X3;$$

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

$$Y(X) = -16,0965 - 0,0477X1 + 0,2581X2 - 0,0029X3;$$

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

$$Y(X) = 29,0042 - 0,2882X1 + 0,3049X2 - 0,0021X3.$$

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].

Проведём исследование и анализ полученных моделей. Для этого воспользуемся программным комплексом «Прогнозирование 1.3». На рис. 1 приведена зависимость вероятностных характеристик от порога регрессионной функции Π для первого приёма преобразования данных. Из этого рисунка видно, что при $\Pi > 1,5$ риск изготовителя равен нулю. Минимальное значение риска по-

ребителя составляет 0,32 при $\Pi = 1,9 \dots 2,7$. Минимальная вероятность ошибки будет при $\Pi = 1,95 \dots 2,7$ и составляет 0,32.

На рис. 2 приведена аналогичная зависимость для второго приёма преобразования данных. Как видно из данного рисунка, минимальное значение риска потребителя также равно нулю 0,32, но уже при $\Pi = 2,9 \dots 3,7$, а риск изготовителя равен нулю при $\Pi > 2,8$. Вероятность ошибки при $\Pi = 2,85 \dots 3,7$ по-прежнему равна 0,32.

На рис. 3, на котором приведена зависимость для третьего приёма преобразованных данных, видно, что риск потребителя минимален и равен 0,31 при $\Pi = 9 \dots 13$. Риск изготовителя при этом достигает нуля при $\Pi > 13$. Вероятность ошибки равна 0,32 при $\Pi = 9 \dots 15$.

Выводы

Построены прогнозные модели качества паяных соединений и проведено прогнозирование их качества.

Было проведено также нормирование и центрирование данных выборки, их нормировка по математическому ожиданию и дисперсии признаков. Наименьшую дисперсию ошибки имеет первый приём преобразования данных.

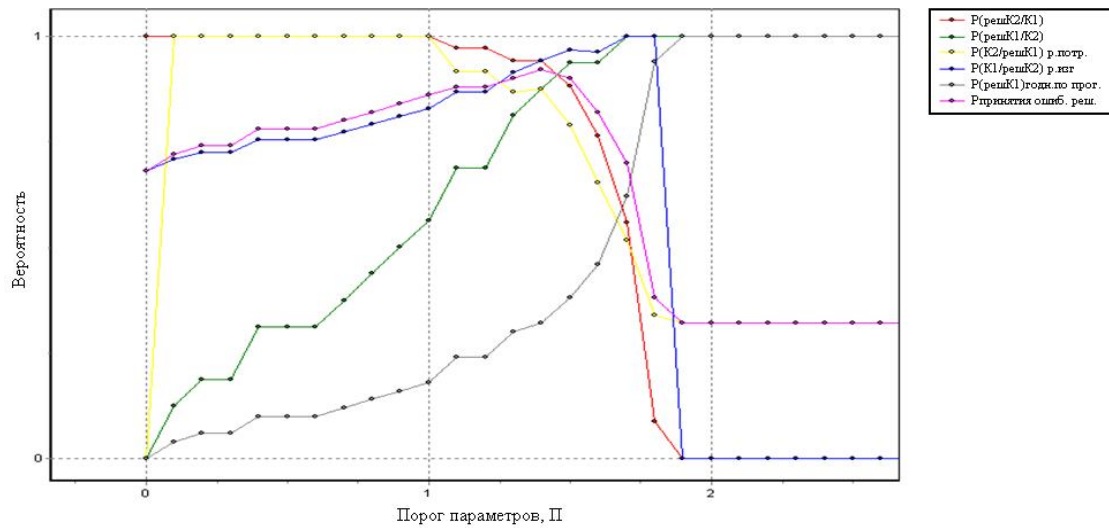


Рис. 1. Влияние порога регрессионной функции на эффективность прогнозной модели № 1

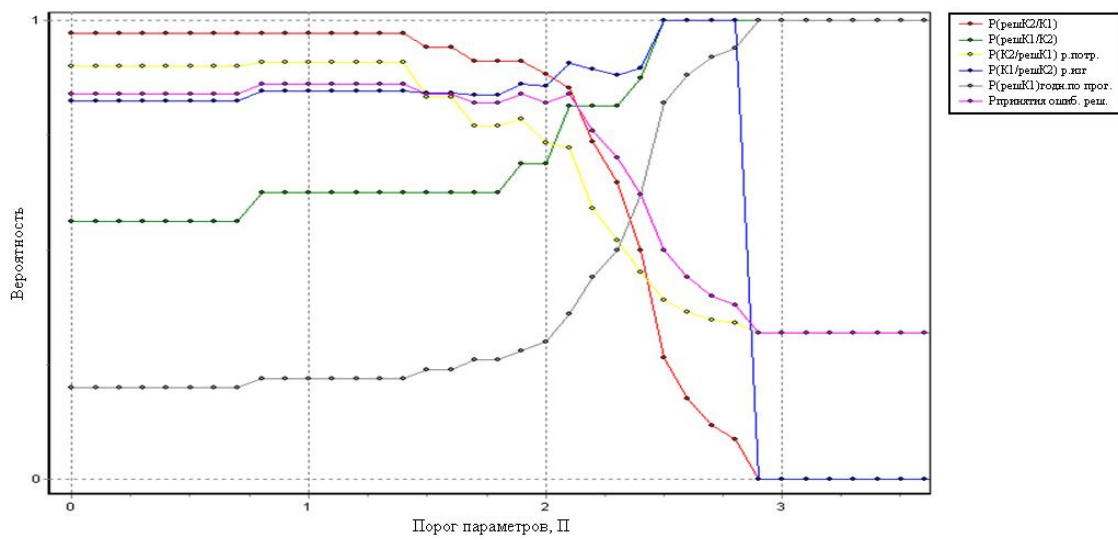


Рис. 2. Влияние порога регрессионной функции на эффективность прогнозной модели № 2

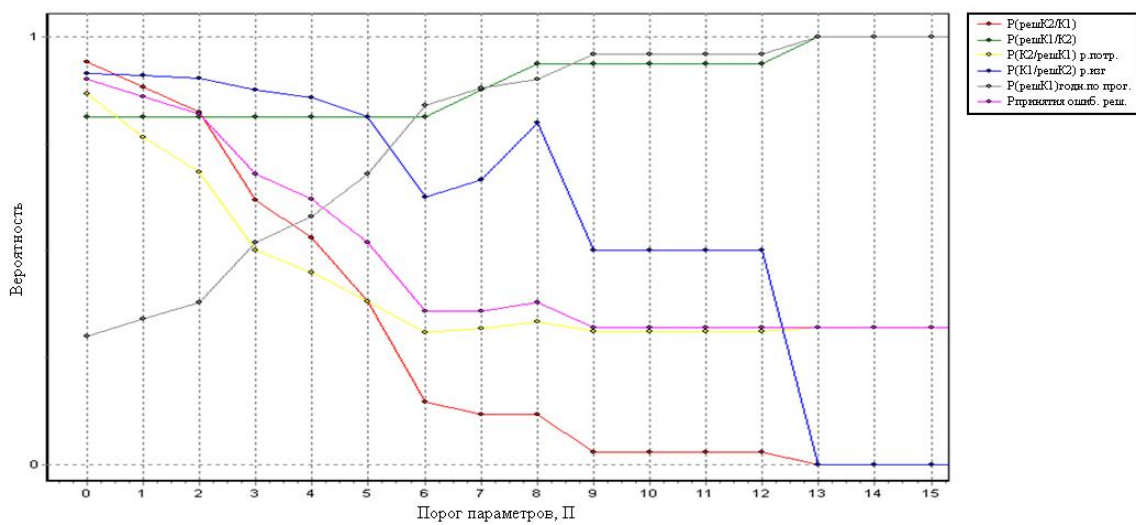


Рис. 3. Влияние порога регрессионной функции на эффективность прогнозной модели № 3

Библиографический список

1. Сыноров, В. Ф. Физические основы надежности интегральных схем [Текст] / В. Ф. Сыноров, Р. П. Пивоварова, Б. К. Петров; Под. Ред. Ю. Г. Миллера. – М.: Сов. радио, 1976. – 320 с.
2. Гаскаров, Д. В. Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры [Текст] / Д. В. Гаскаров, Т. А. Голинкевич, А. В. Мозгалевский. – М.: Сов. Радио, 1974. – 224с.
3. Пиганов, М.Н. Прогнозирование надежности радиоэлектронных средств [Текст] / М. Н. Пиганов, С. В. Тюлевин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2009. - №1 (72). – 174-180с.
4. Тюлевин, С. В. Структурная модель индивидуального прогнозирования параметров космической аппаратуры [Текст] / С. В. Тюлевин, М. Н. Пиганов // Вестник СГАУ. – 2008. - № 1. – С. 92-96.
5. Пиганов, М. Н. Индивидуальное прогнозирование стабильности элементов микросборок [Текст] / 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 [Текст] / С. В. Тюлевин, М. Н. Пиганов // Вестник СГАУ. – 2008. - № 1. – С. 92-96.
7. Пиганов, М. Н. Индивидуальное прогнозирование показателей качества элементов и компонентов микросборок [Текст] / М. Н. Пиганов. – М.: Новые технологии, 2002. – 267 с.
8. Пиганов, М. Н. Прогнозирование надежности радиоэлектронных средств [Текст] / 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 [Текст] / М. Н. Пиганов. – Самара: СГАУ, 1999. – 160 с.
10. Пиганов, М. Н. Технологические основы обеспечения качества микросборок [Текст] / М. Н. Пиганов. – Самара: СГАУ, 1999. – 231 с.

QUALITY FORECASTING SOLDER JOINT ELECTRONIC COMPONENTS

© 2011 I. Y. Shumskikh

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

The results of the construction of forecasting models of quality of solder joints of printed circuit assemblies based on solder pastes Cobar XF3+. To construct the models were used regression and software complex "Prognozirovanie 1.3". Examined three steps transform learning results of the experiment: valuation and alignment of controlled parameters, valuation of the expectation, valuation of the variance. Study and a comparative evaluation of mathematical models.

Mathematical model, forecast, transformation parameters, solder joints, printed circuit assembly, regression, training, performance forecasting.

Информация об авторах

Шумских Илья Юрьевич, аспирант, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: il815@mail.ru. Область научных интересов: качество паяных соединений электронных узлов.

Shumskikh Ilya Urevich, post-graduate student, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). E-mail: i1815@mail.ru. Research interests: quality of solder joints of electronic components.