

УДК 536.24

ПРОБЛЕМА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Кандалов П.И.

*НИИ системных исследований Российской академии наук (НИИСИ РАН), Москва,
e-mail: petrki87@gmail.com*

Реальная практика показывает, что параметры теплового режима в технических системах носят неопределенный характер, принимая возможные значения внутри своих интервалов изменения. Это обуславливает интервальную неопределенность значений температуры в различных точках системы. В то же время, существующие методы моделирования температурных полей не учитывают фактор неопределенности и исходят из предположения, что все параметры, определяющие тепловой режим, являются детерминированными. В статье рассматривается проблема интервальной неопределенности параметров теплового режима и их влияние на температурное поле технической системы. Рассмотрен конкретный пример интервального распределения температуры.

Ключевые слова: неопределенность, техническая система, температурное поле, моделирование, интервальный анализ, интервальная неопределенность

PROBLEM OF UNCERTAINTY OF TEMPERATURE FIELDS IN TECHNICAL SYSTEMS

Kandalov P.I.

*Scientific Research Institute for System Analysis Russian Academy of Sciences (SRISA RAS), Moscow,
e-mail: petrki87@gmail.com*

Actual practice shows that the parameters of the thermal regime in technical systems are uncertain, taking the possible values within their ranges change. This causes the interval uncertainty of temperatures at various points in the system. At the same time, the existing methods for modeling of temperature fields do not into account the uncertainty and based on the assumption that all the parameters that define the thermal conditions are deterministic. The article deals with the problem of the interval uncertainty of thermal condition parameters and their effect on the temperature field in the technical system. A specific example of the interval temperature distribution, is considered.

Keywords: uncertainty, technical system, temperature field, modeling, interval analysis, interval indeterminacy

Технические системы в процессе своей работы потребляют энергию, часть которой затрачивается на совершение полезной работы, а другая – необратимо переходит в тепло. В результате диссипации потребляемой энергии в тепловую в технической системе возникает и устанавливается некоторое распределение температуры, или температурное поле.

В силу значительной зависимости параметров от температуры, адекватное проектирование технической системы невозможно без проведения теплового проектирования, причем последнее основывается на математическом моделировании температурных полей как отдельных элементов системы, так и всей технической системы в целом.

Математико-компьютерное моделирование температурных полей технических систем различного назначения интенсивно развивается как в России [1], так и за рубежом, созданы и разрабатываются новые системы компьютерного теплового моделирования, например, STF-ElectronMod [2], Beta-Soft, Mentor-Graphics / Therm & Flow, Ansys и др.

Несмотря на то, что неопределенность температурных полей технических систем

рассматривалась в ряде научных работ [3, 5 – 7], существующие математические и компьютерные модели и методы для моделирования температурных полей, являются, как правило, детерминированными. Между тем, реальные параметры технических систем всегда изменяются в некоторых интервалах своих значений, то есть параметры, определяющие как функционирование системы, так и протекающие в ней процессы, носят неопределенный характер.

Интервальная неопределенность параметров системы обуславливает, в свою очередь, интервальную неопределенность ее выходных параметров и характеристик, в том числе и тепловых режимов функционирования системы, приводя к интервальной неопределенности температурных полей в технической системе. Иначе говоря, температура в каждой точке системы не является детерминированной и однозначно определенной, но всегда представляет собой интервал, внутри которого она принимает свои возможные значения, отвечающие всевозможным сочетаниям конкретных значений параметров из своих интервалов изменения.

Таким образом, для адекватного моделирования температурных полей технических

систем и их элементов необходимо, чтобы их математические и компьютерные модели учитывали неопределенный характер параметров, являющихся исходными данными для моделирования, возможные значения которых заключены в соответствующих интервалах изменения.

В настоящей статье рассматривается проблема интервальной неопределенности при моделировании неопределенных температурных полей в условиях, когда параметры системы, определяющие температурное поле, являются неопределенными и заданными в виде интервалов возможных изменений.

Анализ интервальной неопределенности температурных полей

В первом приближении анализ неопределенности при моделировании температурных полей может основываться на методах интервального анализа. Численные алгоритмы, реализующие на компьютере математические методы интервального моделирования на уровне команд и компьютерных вычислений, используют операции

интервальной арифметики [3]. В результате работы численного компьютерного алгоритма с интервальными исходными данными получаются интервальные температуры во всех точках моделируемой области системы. Это означает, что в качестве моделируемых выходных величин вычисляются распределения границ (минимальных и максимальных) интервалов температуры в каждой точке, совокупность которых и образует интервальное температурное поле. В качестве модельного примера проанализирована интервальная неопределенность электронной системы, представляющей собой многослойную печатную плату (МПП) и установленные на ней 20 микросхем (МС).

Моделирование интервального температурного поля электронной системы выполнялось для интервальной неопределенности мощностей потребления МС, возможные значения которых показаны в таблице. Результаты компьютерного моделирования – интервалы возможных значений средних температур корпусов МС и разброс средних температур корпусов представлен в таблице.

Минимальные и максимальные значения мощностей МС и интервалы значений температур корпусов МС

Номер МС	Минимальная мощность МС, Вт	Максимальная мощность МС, Вт	Интервал значений температуры корпусов МС, °С	Разброс температуры корпусов МС, %
1	5,5	5,8	73,0 – 80,7	10,5
2	0,4	0,65	47,8 – 55	15,1
3	4,9	5,5	75,3 – 83,2	10,5
4	1,9	2,5	54,9 – 62	12,9
5	0,17	0,5	52,3 – 64,7	23,7
6	0,17	0,5	57,0 – 72,4	27,0
7	0,17	0,5	55,0 – 71,2	29,5
8	0,17	0,5	55,6 – 71,8	29,1
9	0,17	0,5	44,7 – 54,1	21,0
10	0,17	0,5	55,5 – 70,2	26,5
11	0,3	0,55	64,3 – 84,1	30,8
12	0,9	1,8	59,6 – 78,4	31,5
13	0,8	2,1	58,7 – 81,7	39,2
14	0,17	0,5	56,1 – 69,6	24,1
15	0,17	0,5	56,8 – 72,3	27,3
16	0,17	0,5	51,9 – 64,3	23,9
17	0,17	0,5	55,1 – 71,4	29,6
18	0,17	0,5	55,7 – 72,0	29,3
19	0,17	0,5	44,6 – 54,1	21,3
20	0,17	0,5	55,5 – 70,2	26,5

Как следует из полученных данных реальные значения температур в каждой точке поверхности МПП, а также средние температуры корпусов МС (табл. 1), являются не точечными и однозначно определенными, а лежат внутри соответствующих интервалов. При этом на практике могут встретиться любые значения температур, заключенные внутри своих интервалов, и лежащие между рассчитанными минимальными и максимальными значениями. Анализ данных свидетельствуют, что разброс возможных значений температур, которые могут встретиться в реальности, может достигать существенных значений, вплоть до 39,2% (МС 13).

Заключение

В работе показано, что расчеты температурного поля, осуществляемые на основании детерминированных исходных данных, которые приводят к однозначным и единственным значениям температур, не соответствует реальности, в которой значения температур носят принципиально неопределенный характер. Поэтому детерминированный подход к моделированию температурных полей, применяемый в настоящее время, не может быть применяться для адекватного моделирования. Поэтому моделирование температурных полей необходимо проводить в условиях неопределенности исходных данных, а именно,

интервальной неопределенности, когда параметры, определяющие температурные поля технических систем, задаются в виде своих возможных значений, принадлежащих соответствующим интервалам своего изменения.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 12-07-00076-а.

Список литературы

1. Мадера А.Г., Кандалов П.И. Матрично-топологический метод математического и компьютерного моделирования температурных полей в электронных модулях: программный комплекс STF-ElectronMod // Программные продукты и системы, 2012, № 4. С. 160–164.
2. Мадера А.Г., Кандалов П.И. Матрично-топологический метод математического и компьютерного моделирования температурных полей в электронных модулях: программный комплекс STF-ElectronMod // Программные продукты и системы, 2012, № 4. С. 160–164.
3. Мадера А.Г. Иерархический подход при тепловом проектировании электронных изделий // Программные продукты и системы, № 4 (84), 2008. С. 43–46.
4. Alefeld G., Mayer G. Interval analysis: theory and applications // J. Comput. Appl. Math., 2000, v. 121. P. 421 – 464.
5. Madera A.G. Modelling of stochastic heat transfer in a solid // Applied Mathematical Modelling, v. 17, № 12, 1993. P. 664 – 668.
6. Madera A.G. Simulation of stochastic heat conduction processes // International Journal of Heat and Mass Transfer, v. 37, N. 16, 1994. P. 2571 – 2577.
7. Madera A.G., Sotnikov A.N. Method for analyzing stochastic heat transfer in a fluid flow // Applied Mathematical Modelling, v. 20, № 8, 1996. P. 588–592.