УДК 658.012.011.56

И.В.ИВАНОВА, *д-р техн. наук, профессор, 1ivir@mail.ru, rilala_spb@mail.ru*
П.В.ПАШКИН, *аспирант, qwerty_1@mail333.com*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

I.V.IVANOVA, *Dr. in eng. sc., professor, 1ivir@mail.ru, rilala_spb@mail.ru*
P.V.PASHKIN, *post-graduate student, qwerty_1@mail333.com*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПОЭТАПНОГО АНАЛИЗА ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Предлагается подход к построению модели для расчета, анализа и прогнозирования тепловых режимов электронных модулей автоматизированных систем управления технологическими процессами различного уровня иерархии, имеющих различную плотность компоновки и работающих в условиях, определяемых управляемым объектом. Сформулированы требования к тепловым моделям отдельных модулей.

***Ключевые слова*:** электронные модули, тепловые модели, уровни иерархии.

STAGED CONCEPTUAL MODEL ANALYSIS OF HEAT MODE ELECTRONIC MODULES AUTOMATED CONTROL SYSTEMS METALLURGICAL PRODUCTION

An approach to the construction of a model to calculate, analyze and predict the thermal conditions of electronic modules of automated process control systems at different levels of hierarchy, with different density layout and working in conditions determined by a managed object. The requirements to the thermal models of individual modules.

***Key words*:** electronic modules, thermal models, the levels of the hierarchy.

Электронные модули автоматизированных систем управления технологическими процессами (ЭМ АСУТП) можно разделить на три основные группы:

1) модули в составе средств обработки информации;

2) модули в составе средств передачи информации;

3) модули, управляющие работой исполнительных органов технологического процесса.

Модули первой группы, как правило, располагаются на значительном расстоянии от объекта управления и функционируют в комфортном тепловом режиме. Модули второй, а особенно третьей группы располагаются непосредственно у объекта управления и работают в тяжелом тепловом режиме.

Проблема обеспечения нормального теплового режима электронных модулей АСУТП металлургического производства стоит достаточно остро, так как от их надежной работы зависит надежность работы АСУТП в целом [1].

Электронные модули автоматизированных систем управления технологическими процессами представляют собой сложную систему. Основная сложность при разработке моделей таких объектов заключается в трудности учета взаимного влияния множе-

ства находящихся в тепловом контакте тел. Подробное математическое описание температурного поля в этом случае может быть дано в виде системы дифференциальных уравнений теплопроводности твердых тел и уравнений энергии для потоков теплоносителей с различными граничными условиями [6]. Практически эта задача не решаема даже с применением современных ЭВМ.

Очень часто входная информация для расчета тепловых режимов является неполной, особенно на ранних стадиях проектирования, либо задается неточно из-за разброса значений теплофизических параметров и значительной погрешности определения элементов модели. При этом модель не станет более адекватной, если будет содержать большее число переменных, так как число переменных не столь принципиально, как взаимосвязь между ними. Основное требование заключается в нахождении компромисса между простотой и точностью – это требование построить простейшую модель, описывающую теплообмен с необходимой точностью и полнотой. При этом число переменных в модели должно выбираться, исходя из того, что степень понимания явления обратно пропорциональна числу переменных, фигурирующих в его описании.

Анализ температурных полей таких сложных объектов, как ЭМ АСУТП, основывается на методе поэтапного моделирования. Основная идея этого метода состоит в построении иерархии моделей, описывающих исследуемую систему на разных уровнях детализации ее характеристик, при этом число переменных в каждой из моделей должно быть невелико. При создании моделей используются такие понятия теории сложных систем, как агрегатирование и декомпозиция [4]. Под агрегатированием понимается укрупнение исходной полной модели для расчета некоторых усредненных характеристик. Так, в тепловых моделях полная информация о температурном поле заменяется несколькими характеристиками: среднеповерхностной или среднеобъемной температурой. Агрегатирование также может выражаться в уменьшении размерности задачи. Декомпозиция состоит в разделении задачи на ряд независимых. Выделение одного элемента или множества элементов из системы для более подробного анализа производится при соблюдении требования совместимости.

На первом этапе ЭМ АСУТП рассматриваются как единая система с агрегатированием отдельных ее частей в предположении малых различий между ними, и декомпозицией, не учитывающей слабые связи; при этом определяются усредненные температуры. Затем выделяются узкие места, более детально изучаются отдельные части; граничные условия определяются на основе полученной на предыдущем этапе информации, которая агрегатируется.

Понятия декомпозиции и агрегатирования являются основой теплового моделирования ЭМ АСУТП как системы по горизонтальным иерархическим уровням моделирования, которые должны совпадать с иерархическими уровнями конструктивно-функционального деления аппаратуры [2]. Такое разбиение позволяет найти общий подход к поэтапному моделированию сложных иерархических систем и обусловлено практикой теплового проектирования – последовательной выработкой проектных решений по обеспечению температурной надежности для различных модулей ЭМ АСУТП в процессе технического проектирования всей системы в целом.

Общее направление расчета и анализа – нисходящее от модулей, смонтированных на объекте и определенных на предыдущем этапе, до отдельного электронного элемента. В таком случае можно рассмотреть все условия, влияющие на тепловой режим ЭМ, начиная с внешней среды.

Концептуальная модель поэтапного анализа тепловых режимов ЭМ АСУТП представлена в таблице. Здесь же указаны структурные уровни компоновки ЭМ АСУТП, в которые входят соответствующие элементы БНК, согласно [3].

В общем случае, моделирование может начинаться с любого, не самого высокого, иерархического уровня, например, при анализе теплового режима разрабатываемых

типовых устройств (блоков, микросборок), предназначенных для эксплуатации в составе различных функциональных модулей. В техническом задании необходимо дать информацию о внешних тепловых воздействиях, полученную на основе экспертных оценок.

Модель поэтапного анализа тепловых режимов электронных модулей АСУТП

Этап моделирования	Уровень иерархии	Аппаратура уровня
1	7	Комплекс ЭМ АСУТП в помещении
2	6	Комплект шкафов ЭМ АСУТП одного вида
3	5	Шкаф
4	4	Секция блоков
5	3	Модуль
6	2	Функциональная ячейка
7	1	Микромодуль

В терминологии теплового моделирования тепловые взаимодействия между модулями предыдущего уровня иерархии называются источниками тепла. Отдельные ЭМ АСУТП имеют некоторые агрегатированные, усредненные внутренние теплофизические параметры, усредненное распределение мощностей рассеивания, и для них рассчитываются усредненные температурные характеристики, а также средние температуры среды между модулями. На следующем этапе, при более подробном рассмотрении теплового режима отдельного модуля, эта информация является входной, определяющей внешние температурные воздействия. Так, от этапа к этапу растет подробность рассмотрения. Расчет может заканчиваться либо на этапе, когда определяются температуры корпусов отдельных функциональных ячеек, или при определении температур микросборок, если они имеются в составе модулей.

На практике используется два общих способа укрупнения тепловых моделей [6]. В первом случае осуществляется переход от объекта (системы тел) к квазиоднородному телу с некоторыми эффективными теплофизическими свойствами (модель с распределенными параметрами). Данный подход используется, когда объект состоит из достаточно большого числа близких в конструктивном отношении элементов (элементарных ячеек). Элементарной ячейкой может быть и модуль, и часть соседнего пространства: элементы несущей конструкции, воздушные пространства. Ячейка имеет усредненные теплофизические параметры, распространяемые на всю систему. Температурное поле в этом случае можно описать дифференциальным уравнением теплопроводности. Данная модель позволяет рассчитать пространственное распределение локально усредненной в пределах элементарной ячейки температуры.

Второй способ укрупнения состоит в том, что к исходной математической модели применяются интегральные операции усреднения по некоторым координатам, например по площади или объему. Это уменьшает размерность задачи, либо сводит ее к расчету среднеповерхностных или среднеобъемных температур отдельных частей системы (используется модель с сосредоточенными параметрами). Возможность замены пространственного распределения тепловых воздействий на границах усреднения обосновывается принципом малых возмущений (местного влияния), согласно которому любое местное возмущение температурного поля является локальным и не распространяется на отдельные участки поля [5]. Очень часто вводится понятие «условной среды» [3], общее тепловое воздействие которой эквивалентно тепловому воздействию всех объектов, окружающих рассматриваемый. Необходимо отметить, что если внешний модуль расположен близко к рассматриваемому (достаточно сильная тепловая связь), но модули имеют металлические кожухи и равномерное распределение мощностей теплового рассеивания, то допущение об усредненных внешних воздействиях вполне закономерно.

В отдельных случаях необходимо объединить некоторые этапы моделирования, чтобы избежать погрешностей усреднения на переходах. Однако модель не должна слишком усложняться. Принцип местного влияния может быть использован также при объединении ЭМ АСУТП (источников теп-

ла) в группы. Такое положение возникает, когда априорно могут быть выделены «узкие места» – модули, тепловой режим которых наиболее «напряжен» из-за больших мощностей теплового рассеивания или худших условий теплообмена. Тогда воздействие удаленных модулей, если не требуется рассматривать их подробнее, может быть усреднено, суммировано.

Следует помнить, что метод поэтапного моделирования приближенный и требует обоснования допущений и анализа погрешностей для каждого анализируемого класса объектов.

В заключение сформулируем общие требования к тепловым режимам и математическим моделям ЭМ АСУТП.

1. Модель должна точно описывать процессы теплообмена в модуле, позволяя производить многовариантный расчет и анализ тепловых характеристик модуля, давать оценку эффективности систем охлаждения в зависимости от различных ограничений, как внешних (тепловых воздействий окружающей среды, других модулей), так и внутренних (электрических режимов, конструктивно-технологических параметров). Все эти ограничения должны найти полное отражение в теплофизических параметрах, внешних и внутренних тепловых воздействиях.

2. Модель должна быть достаточно простой и вместе с тем отображать с необходимой точностью температурные характеристики модуля.

3. Модель должна позволять проводить оценочное и более детальное, более точное моделирование в зависимости от стадии проектирования, этапа расчета. Высокую точность моделирования при проведении инженерных расчетов обеспечить не удается по причине неточного знания входной информации.

4. Модель должна быть алгоритмически и программно реализуема на вычислительной технике.

5. Комплекс моделей, реализующих поэтапный анализ тепловых режимов ЭМ АСУТП, должен строиться по иерархическому принципу с обеспечением их информационной совместимости в части задания внешних граничных условий на каждом последующем этапе моделирования.

В общем случае сформулированные требования простоты, точности и универсальности противоречивы, поэтому при построении моделей анализа тепловых режимов ЭМ АСУТП требуется найти компромиссное решение.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Глинков Г.М.* АСУ ТП в черной металлургии / Г.М.Глинков, В.А.Маковский. М., 1999. 310 с.

2. *Мухачев Г.А.* Термодинамика и теплопередача / Г.А.Мухачев, В.К.Щукин. М., 1991. 480 с.

3. Несущие конструкции радиоэлектронной аппаратуры / Под ред. П.И.Овсищера. М., 1988. 232 с.

4. *Первозванский А.А.* Декомпозиция, агрегирование и приближенная оптимизация / А.А.Первозванский, В.Г.Гайцгори. М., 1979. 344 с.

5. *Уонг Х.* Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров / Пер. с англ. М., 1979. 216 с.

6. *Шелест В.И.* Оптимальное проектирование радиоэлектронных систем с волоконно-оптическим электромонтажом. СПб, 1995. 232 с.

REFERENCES

1. *Glinkov G.M., Makovsky V.A.* ACS in the steel industry. Moscow, 1999. 310 p.

2. *Mukhachev G.A., Shchukin V.K.* Thermodynamics and Heat Transfer. Moscow, 1991. 480 p.

3. Bearing designs of electronic equipment / Ed. P.I.Ovsishchera. Moscow, 1988. 232 p.

4. *Pervozvansky A.A., Gaytsgori V.G.* Decomposition, aggregation and approximate optimization. Moscow, 1979. 344 p.

5. *Wang X.* The basic formulas and data on heat transfer for engineers / Transl. from English. Moscow, 1979. 216 p.

6. *Shelest V.I.* Optimal design of electronic systems with fiber optic wiring. Saint Petersburg, 1995. 232 p.