

АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ БЛОКОВ ПИТАНИЯ ПОРТАТИВНЫХ БЕТАТРОНОВ МЕТОДОМ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕРМОГРАФИИ

О.С. Симонова, С.В. Касьянов, А. Московченко, GuoXingwang

*Томский политехнический университет, г.Томск
Научный руководитель: Вавилов В.П., д.т.н, профессор, руководитель
лаборатории № 34 Тепловых методов контроля ТПУ*

Портативные бетатроны широко используются в различных отраслях промышленности, в особенности, в дефектоскопии различных установок и компонентов [1, 3], в досмотровых комплексах [2], в промышленных томографах [4], а также в медицинской диагностике и лечении злокачественных опухолей [5, 6]. Преимуществами бетатронов являются простота конструкции, незначительная по сравнению с другими ускорителями масса, удобство в эксплуатации и относительно невысокая стоимость.

Томский политехнический университет является единственным в мире разработчиком портативных бетатронов, осуществляя полный цикл производства: от проектирования узлов ускорителя до установки готовой продукции у заказчика.

Качественная работа ускорителя зависит от теплового режима как излучателя, так и блока питания. Бетатронная установка работает в цикле «нагрев-охлаждение», причем время, необходимое для проведения полного цикла, составляет соответственно 45 и 15 минут.

В каждом бетатроне предусмотрена воздушная система охлаждения, отводящая тепло от перегретых компонентов; к ним относятся обмотка, стойки и ярма. Проблемным является отвод тепла от областей, которые не соприкасаются с охлаждающим воздухом. К ним относятся магнитопровод, состоящий из центральных полюсов с центральными вкладышами, которые разделены диэлектрическими прокладками, а также обратный магнитопровод, представляющий собой шесть стоек, которые являются частью внешнего корпуса. Магнитопроводы набраны из пластин трансформаторной стали, склеенных между собой эпоксидным компаундом.

Большинство использованных материалов имеет невысокий коэффициент теплопроводности, поэтому отвод тепловой энергии путем теплопроводности незначителен. До последнего времени проектирование блоков питания осуществлялось с использованием стандартных расчетных методов, поэтому сохраняется необходимость оптимизации систе-

мы охлаждения излучателя и поиска конструкторских решений, которые снизят нагрев вышеуказанных элементов.

Настоящее исследование посвящено использованию метода инфракрасной (ИК) термографии для анализа теплового режима блока питания бетатрона с энергией 7,5 МэВ.

ИК термография как техника бесконтактного анализа тепловых полей объектов по их тепловому (ИК) излучению широко используется в электротехнике и радиоэлектронике, в том числе, для снятия температурных полей узлов и изделий в процессе функционирования. Обзор возможностей данного метода сделан в [7]. Следует отметить, что подавляющее большинство применений ИК термографии связано со стационарным режимом. Считается, что основной проблемой ИК диагностики радиоэлектронных устройств является необходимость определять коэффициент излучения, который весьма существенно изменяется от одного элемента к другому и искажает температурные отсчеты. В данном исследовании мы рассматриваем сравнительно малоисследованный аспект ИК диагностики плат и стоек электронной аппаратуры, а именно, анализ динамики изменения температуры, что позволяет с использованием современных методов обработки нестационарных временных рядов: Фурье и вейвлет анализа, метода анализа главных компонент и др. детально анализировать процесс изменения температуры отдельных блоков и компонент в нестационарном режиме.

Блок питания малогабаритного бетатрона мощностью 7,5 МЭВ (Рис. 1а) исследовали с помощью тепловизора NEC Avio TH-9100, обеспечивающего температурную чувствительность до 30 мК (в режиме накопления) при формате термограмм 320×240. Блок питания был закрыт полиэтиленовой пленкой толщиной 60 мкм для имитации условий конвекции внутри блока, близких к реальным; при этом спад температурного сигнала вследствие поглощения в пленке не превышал 1,5 %. При выбранной частоте записи 5 Гц и полном времени контроля 10 минут записывали 300 термограмм в сессии.

Примеры результатов контроля, полученных с помощью программы ThermoFit Pro (Томский политехнический университет), показаны на рис. 1, б–е. На исходной термограмме, зафиксированной через 1 минут после включения бетатрона (без излучения) отчетливо виден перегретый отсек с тремя тиристорами.

Применение статистического метода анализа главных компонент (МАГК), применяемого ко всей последовательности из 300 термограмм, позволило выделить в первых трех главных компонентах основные тепловые феномены. Первая компонента (рис. 1, в) аналогична основному термоизображению, поскольку показывает зоны с наибольшей ампли-

тудой температурных аномалий. Вторая компонента выделяет менее значимы зоны, в то время как третья компонента показывает элементы блока питания со слабыми температурными сигналами. Напомним, что МАГК сводит последовательность из N исходных изображений к последовательности N компонент, из которых только 3–5 первых компоненты отражают особенности текстуры исследуемых изображений, а остальные компоненты содержат шум. На рис. 1, *е* приведен результат применения специального алгоритма обработки температурных сигналов, позаимствованный из известного метода определения теплопроводности Паркера. На приведенном изображении пиксельные амплитуды выражены в номерах термограмм, где температура нагрева достигает половины своего максимального значения. Таким образом в данном изображении, называемом таймограммой, в закодированном виде содержится информация о темпе разогрева и тепловой инерции отдельных элементов блока питания.

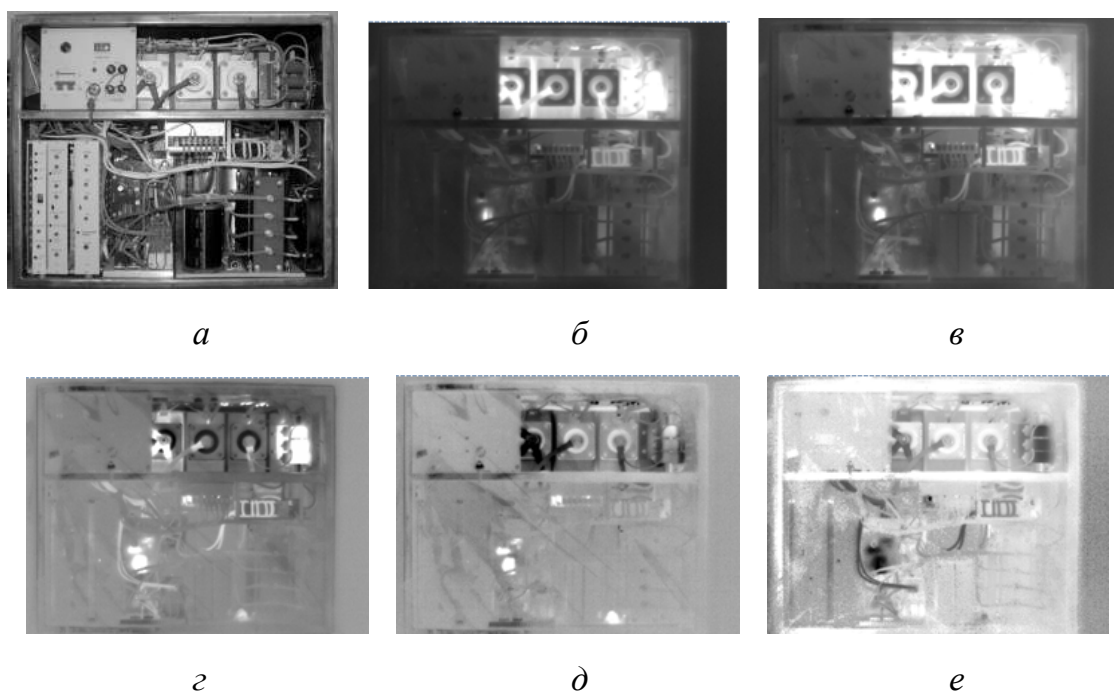


Рис. 1. Результаты теплового контроля процесса разогревания элементов блока питания бетатрона на МЭв: а – фотография блока питания; б – термограмма через 10 минут после включения; в – после применения метода анализа главных компонент (МАГК), 1-я компонента; г – МАГК, 2-я компонента; д – МАГК, 3-я компонента; е – коррелограмма

В данном изображении, называемом таймограммой, в закодированном виде содержится информация о темпе разогрева и тепловой инерции отдельных элементов блока питания.

Отметим также, что визуальные преимущества МАГК наиболее проявляются в псевдоцветовых изображениях, получаемых с помощью программы ThermoFit Pro (на рис. 1) приведены полутонные изображения. Основным выводом из выполненных исследований является демонстрация возможностей анализа динамики разогрева элементов блока питания бетатрона, что позволяет более обоснованно подходить к проектированию и выбору дизайна электронных блоков и плат.

Список информационных источников

1. Павловский А.И., Кулешов Г.Ф. и др. // Разработка и практическое применение электронных ускорителей в народном хозяйстве: Труды Всесоюзной конференции. – Томск, 1972. – С.226–228.
2. Касьянов С.В. Применение бетатронов в радиографических досмотровых системах. // Известия Томского политехнического университета. – 2008. Т. 312. – № 2. – С.134–137.
3. Ананьев Л.М., Чахлов В.Л., Штейн М.М. и др. Малогабаритные бетатроны и их применение в дефектоскопии // Дефектоскопия. – 1968. – № 6. – С. 60–64.
4. Вайнберг Э.И., Вайнберг И.А., Касьянов В.А., Чахлов В.Л. Штейн М.М. Опыт применения бетатронов НИИ интроскопии при ТПУ в составе компьютерных томографов «проминтро». // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 312. – № 2. – С. 32–35.
5. Попович В.И., Зырянов Б.Н., Кицманюк З.Д., Мусабаева Л.И. Интраоперационная и электронная терапия опухолей головы и шеи. – Томск: МГП «РАСКО», 1999. – 145 с.
6. Зырянов Б.Н., Афанасьев С.Г., Завьялов А.А., Мусабаева Л.И. «Интраоперационная лучевая терапия» – Томск: STT, 1999 – 288 с.
7. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. – М.: Спектр, 2012. – 545 с.