

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ТЕПЛОАГРУЖЕННЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

*С. В. Ефремова, В. П. Леушев, А. В. Иванов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

## Введение

К радиоэлектронным средствам (РЭС) предъявляется ряд требований, направленных в т. ч. и на обеспечение работоспособности в условиях тепловых воздействий. Значительные мощности тепловыделения способствуют перегреву ЭРИ и могут привести к потере работоспособности РЭС. Таким образом, обеспечение нормального теплового режима ЭРИ является необходимым условием надежной работы РЭС.

## Постановка задачи и методы анализа тепловых режимов

Современные РЭС представляют сложные системы тел разнообразной геометрической формы с тепловыми связями и различными по форме воздушными прослойками.

Необходимо оценить возможность применения различных методов анализа тепловых режимов для теплонагруженных РЭС сложной конструкции и определить погрешность получаемых результатов.

Экспериментальное исследование может быть затруднено из-за высоких финансовых или временных затрат. Аналитический расчет затруднителен ввиду громоздкости систем дифференциальных или алгебраических уравнений, описывающих тепловой режим РЭС, реализовать такое решение возможно для моделей, содержащих не более трех-четырёх тел [1].

Наиболее известными аналитическими решениями являются метод тепловых характеристик и метод последовательных приближений. При расчете по первому методу требуется построение графика тепловой характеристики, по которому определяется перегрев, соответствующий заданной мощности источников тепла. Применение метода последовательных приближений связано с необходимостью многократного вычисления коэффициентов теплообмена между областями системы, данный метод является более трудоемким. Имеющиеся аналитические решения выполнены для тел простой формы или для простейших систем тел.

Одним из эффективных методов изучения сложных систем является численное моделирование. Численный метод особенно удобен при использовании программных средств.

Предлагается алгоритм тестирования программного средства на простых моделях при известных результатах физического моделирования с последующим переходом к более сложным конструкциям. То есть при наличии результатов экспериментального исследования простой конструкции можно провести ее моделирование с помощью программного средства, после сравнения полученных данных определить погрешность и перейти к моделированию РЭС сложной конструкции. Под простой моделью подразумевается РЭС с небольшим количеством деталей несложной геометрической формы.

В качестве программного средства использовался отечественный программный комплекс (ПК) ТРИАНА (демо-версия).

## Описание работы программного комплекса

ПК предназначен для моделирования стационарных и нестационарных тепловых процессов, протекающих в конструкциях РЭС, таких как стоечные конструкции, блоки, печатные узлы, микросборки.

В результате моделирования могут быть получены температуры конструктивных узлов, температуры корпусов и активных зон компонентов, изотермы конструкции, термограммы конструкции, изображение только перегретых элементов, распределение мощностей по компонентам, коэффициенты тепловой нагрузки компонентов, графики зависимости температур компонентов от времени.

В данной работе использовалась часть ПК (МТРЕditor), предназначенная для моделирования тепловых процессов, протекающих в блоках. Моделирование состоит из следующих последовательных этапов:

1. Конструкция РЭС разбивается на условно изотермичные объемы (условно однородные тела с определенной среднеобъемной или среднеповерхностной температурой), которые являются узлами графа. В качестве условно изотермичных объемов в РЭС рассматриваются обособленные ЭРИ (трансформаторы питания, дроссели, конденсаторы фильтров и т. п.), конструктивные элементы (панели корпуса, корпус блока и т. п.), конструктивные узлы (печатные узлы, узлы радиаторов, функциональные ячейки, микросборки и т. п.), воздушные потоки и объемы, окружающая среда, микроблоки и блоки и т. п.

2. Узлы графа соединяются между собой ветвями, моделирующими соответствующие виды теплообмена между выделенными объемами, пренебрегают определенными видами теплообмена, например, тепловым излучением и конвекцией с торцевых поверхностей печатных плат, передачей тепла через некоторые элементы крепления, конвективной передачей тепла внутри герметичной микросборки и т. п. Процесс переноса тепловой энергии осуществляется тремя различными способами: теплопроводностью, конвекцией и тепловым излучением. Обычно все три способа существуют одновременно и в своей совокупности определяют тепловой режим РЭС.

3. В узлы графа, если такие имеются, подключаются источники мощности, источники температуры, теплоемкости.

4. На основе построенной пользователем топологической модели тепловых процессов (МТП) программой автоматически, по заданным геометрическим и теплофизическим параметрам выделенных объемов, формируются системы нелинейных уравнений (для стационарного теплового процесса) или системы обыкновенных дифференциальных уравнений (для нестационарного теплового процесса).

5. После задания параметров анализа производится расчет, результаты представляются в графическом и табличном виде.

### Моделирование теплового режима простой конструкции

С целью оценки возможности применения ПК при исследовании теплового режима РЭС выбрана простая конструкция (см. рис. 1). Тепловая модель представляет радиатор с ребрами, выполненный из алюминиевого сплава и рассчитанный на шесть транзисторов с мощностью тепловыделения 2,5 Вт каждый. Тепловая модель имеет простые геометрические формы, равномерно распределенные источники тепла с равными значениями мощностей тепловыделения.

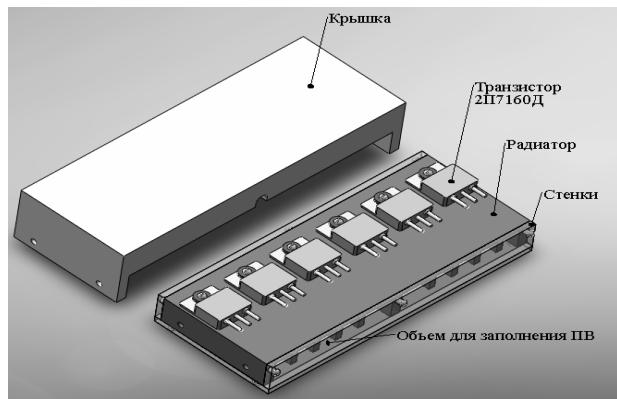


Рис. 1. Тепловая модель

Для тестирования ПК проведено экспериментальное исследование данной модели, результиру-

ющие температуры получены посредством тепловизора. Графики температур представлены на рис. 2, кривая EXP1 характеризует температуру радиатора без плавящегося вещества (ПВ).

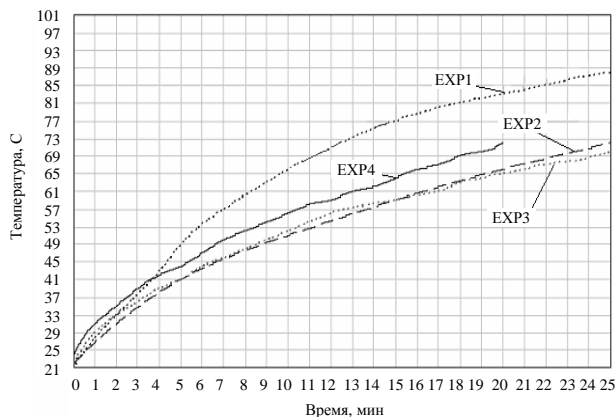


Рис. 2. Графики температур: EXP1 – работа модуля без ПВ, EXP2 – работа модуля с церезином, EXP3 – работа модуля с парафином, EXP4 – работа модуля с парафином и дополнительной термоизоляцией

В ПК построена МТП тепловой модели, представленная на рис. 3. В процессе разработки МТП конструкция разбивалась на условно изотермичные объемы: 1 – радиатор, 2–7 – транзисторы, 8 – окружающая среда, 9–11 – стенки радиатора, 12 – воздушный объем, образованный ребренной поверхностью радиатора и стенками. Представленная МТП

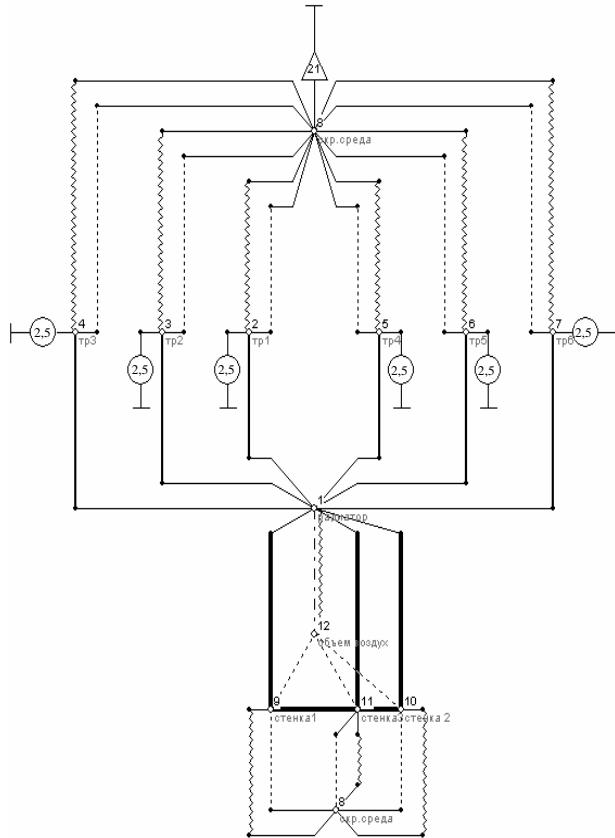


Рис. 3. МТП тепловой модели

отражает следующий путь распространения тепловых процессов. Тепловая энергия, выделяемая транзисторами (моделируется включением в узлы 2–7 источников тепловой энергии), передается кондукцией через слой теплопроводящей керамики-полимерной прокладки, с оребренной поверхности радиатора энергия передается конвективно-кондуктивно-лучистым путем. Часть энергии передается в окружающую среду (узел 8) посредством излучения и естественной конвекции. Стенки связаны с радиатором и между собой контактным теплообменом; энергия, поступившая на стенки, передается в окружающую среду также посредством излучения и естественной конвекции.

Результаты моделирования представлены в виде таблицы.

Температуры в узлах МТП приведены в табл. 1.

Таблица 1

Температуры в узлах МТП тепловой модели

№ узла	Наименование узла модели или фрагмента модели	Значение температуры, °С
1	радиатор	80,23
2	тр1	80,95
3	тр2	80,95
4	тр3	80,95
5	тр4	80,95
6	тр5	80,95
7	тр6	80,95
8	окр. среда	21,00
9	стенка 1	80,20
10	стенка 2	80,20
11	стенка 3	80,16
12	объем воздух	80,22

В результате сравнения температуры радиатора, полученной в ПК (80,23 °С), и температуры радиатора, полученной экспериментально (на рис. 2 кривая EXP1, 83 °С), относительная погрешность моделирования составила примерно 3,3 %, что говорит о достаточно высокой точности моделирования в ПК.

### Моделирование теплового режима теплонагруженных РЭС сложной конструкции

При известном значении погрешности ПК проведено моделирование теплонагруженного РЭС сложной конструкции. В качестве объектов моделирования использовались составные части вторичного источника питания (ВИП), имеющего модульную конструкцию [2]. ВИП предназначен для получения стабилизированных напряжений и токов. Для моделирования выбраны самые теплонагруженные модули ВИП: модуль силовой, модуль силовой дискретный, модуль накала. Эскизы модулей приведены на рис. 4–6.

Конструкцию каждого модуля можно представить в общем виде состоящей из блоков: входного, силового, выпрямителя. Входной блок состоит из печатных плат с ЭРИ. Силовой блок каждого модуля включает в себя транзисторы, установленные на радиатор, и трансформаторы. Выпрямительный блок состоит из диодов, установленных на радиаторы.

Транзисторы, трансформаторы, диоды в составе приведенных модулей ВИП имеют высокие мощности тепловыделения.

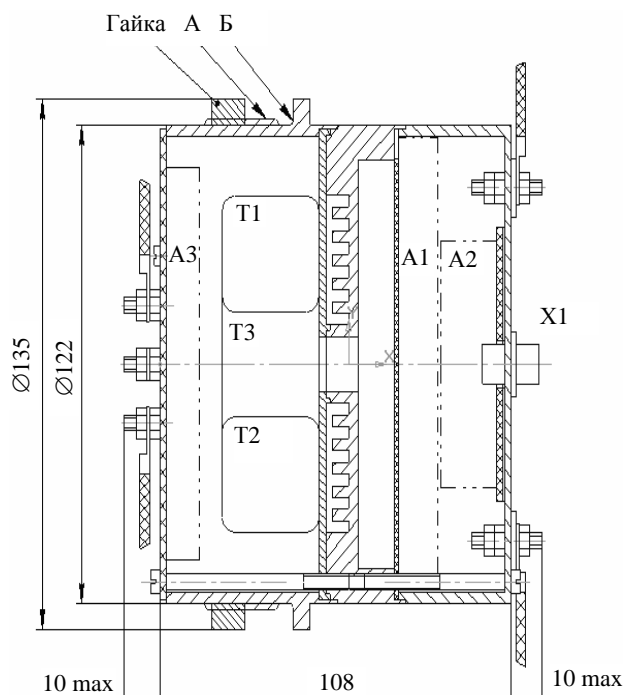


Рис. 4. Эскиз модуля силового

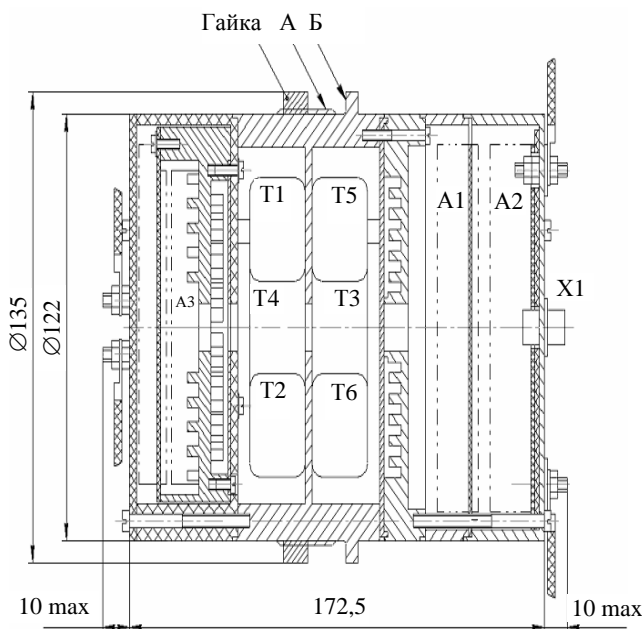


Рис. 5. Эскиз модуля накала

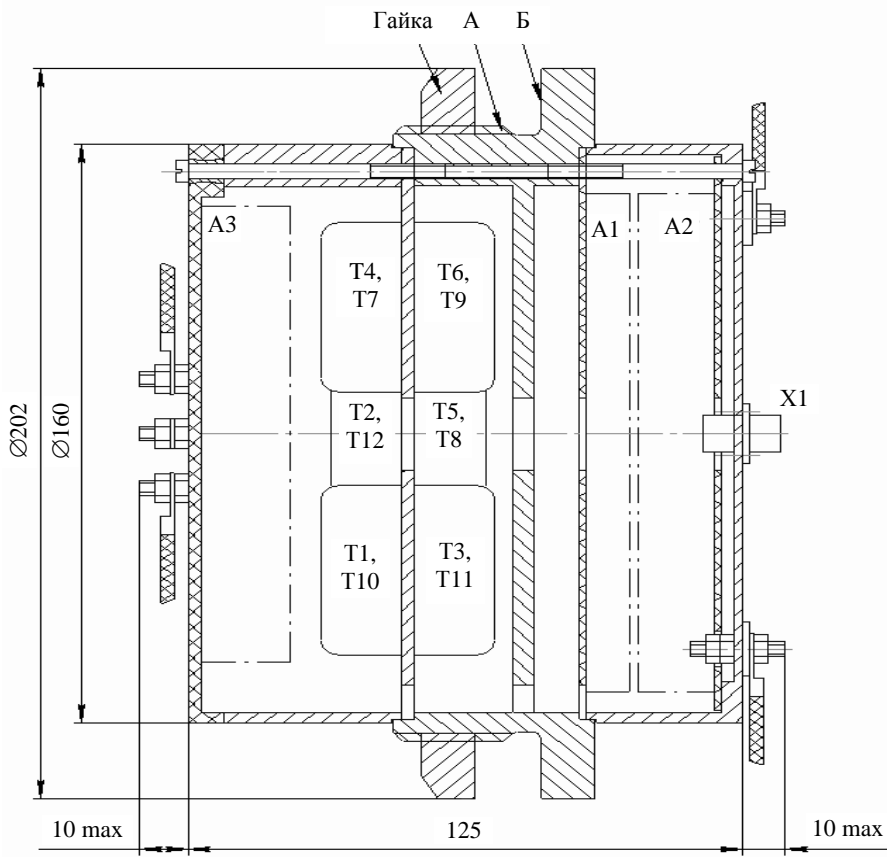


Рис. 6. Эскиз модуля силового дискретного МТП модулей ВИП, построенных в ПК, представленных на рис. 7–9

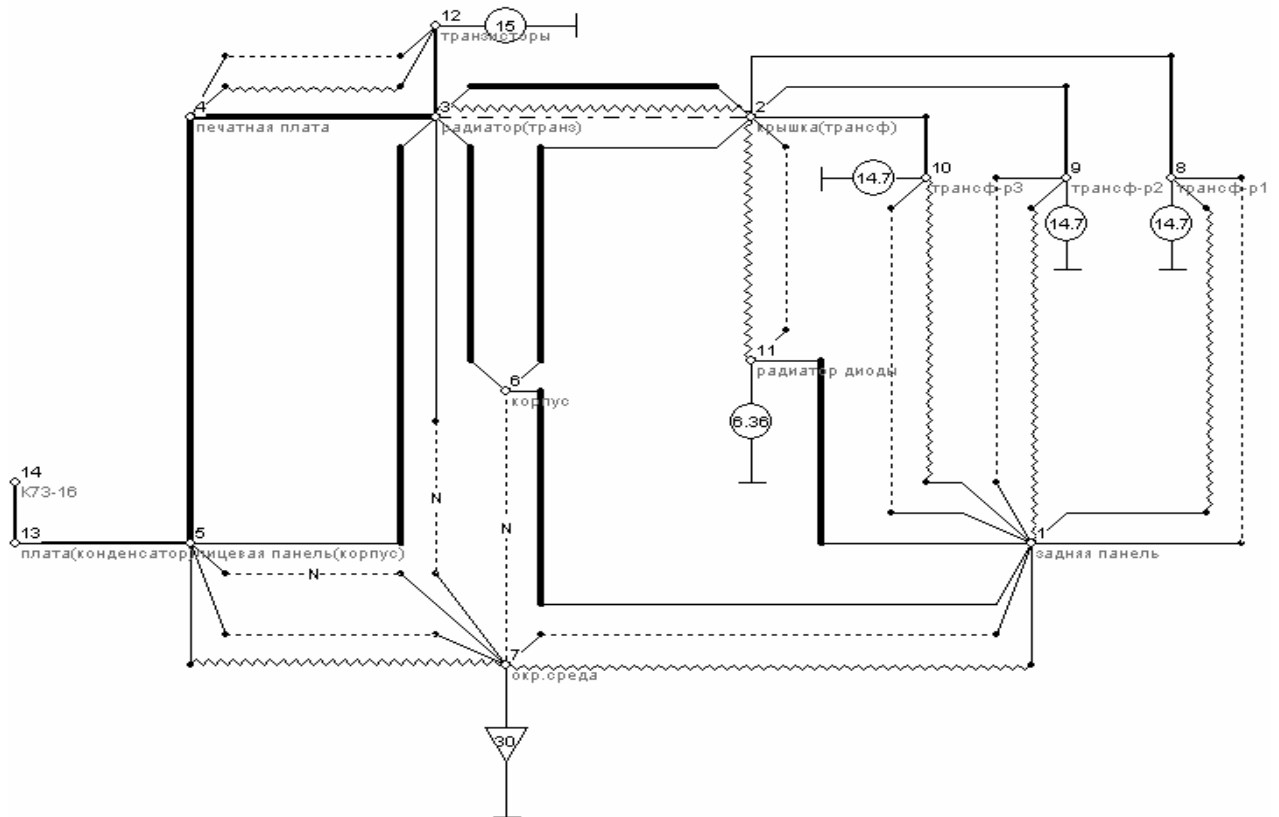


Рис. 7. МТП модуля силового

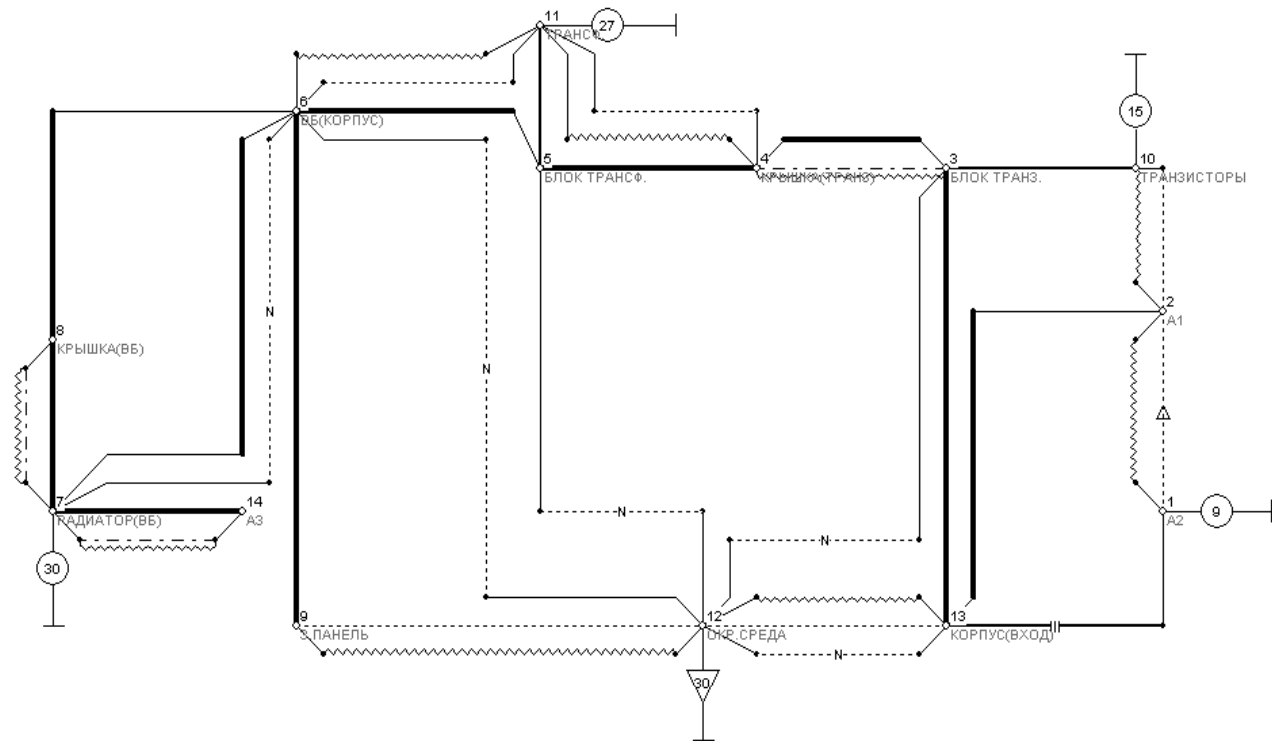


Рис. 8. МТП модуля накала

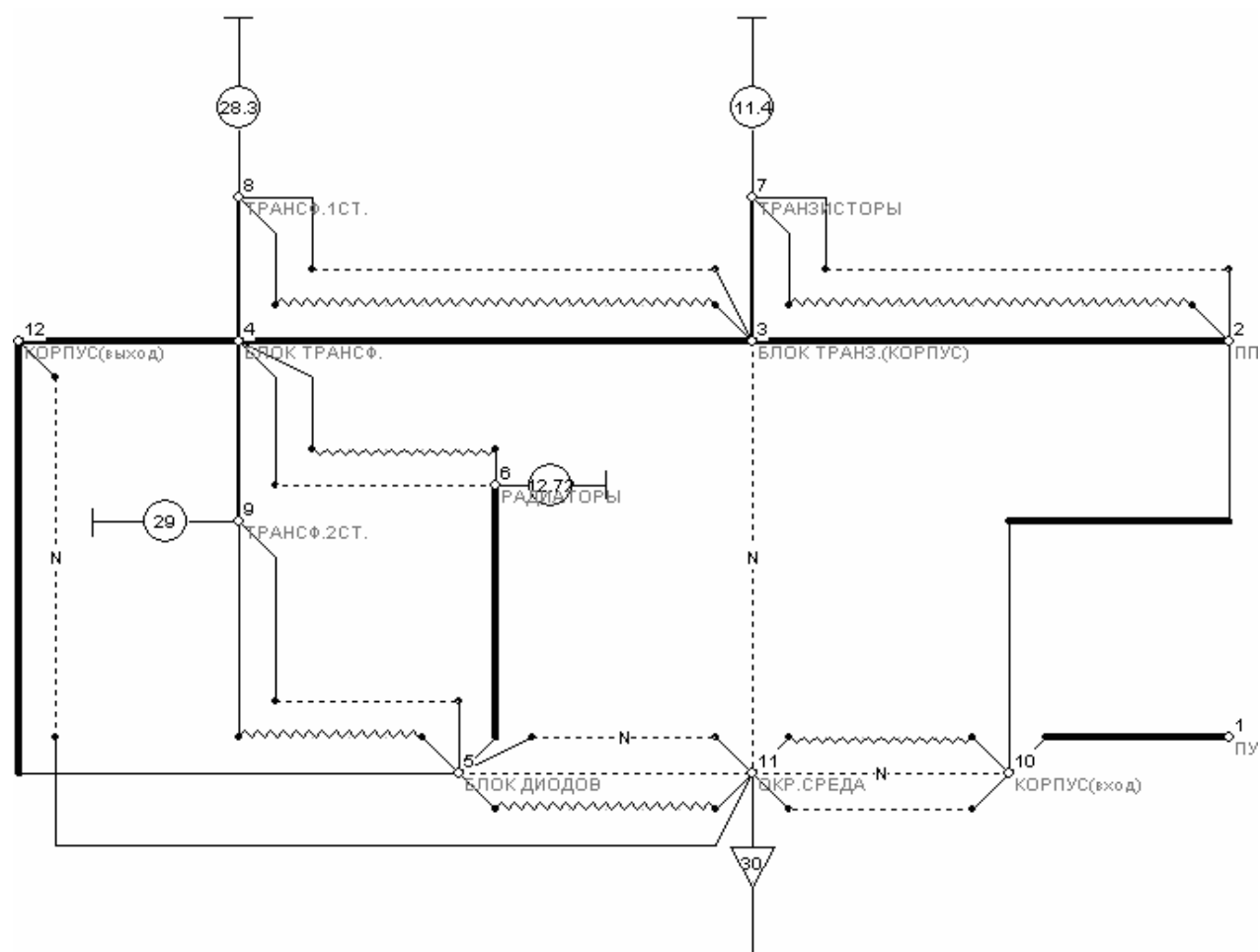


Рис. 9. МТП модуля силового дискретного

В табл. 2 представлены температуры трансформаторов, транзисторов, плат, узлов радиаторов, полученные в результате моделирования.

Т а б л и ц а 2

Результаты моделирования

	Температура, ° С		
	модуль силовой	модуль накала	модуль силовой дискретный
Транзисторы	106,87	103,21	85,21
Блок транзисторов	105,67	102,03	84,79
Трансформаторы	113	106,37	94,3
Блок трансформаторов	107,08	103,58	91,28
Радиатор (диоды)	103,92	106,89	83,57
Плата А1	100,34	98,5	78,37
Плата А2	104,46	105,33	72,89
ПлатаА3	–	106,89	–

**Заключение**

Подводя итоги проведенных работ, можно сделать следующие выводы:

– исследование теплового режима РЭС типа ВИП аналитическими методами будет труднореализуемым ввиду сложности конструкции;

– для теплового исследования сложных конструкций применимы численные методы;

– используя модуль MTPeditor ПК ТРиАНА, при известных геометрических и теплофизических параметрах разрабатываемой конструкции, можно провести моделирование тепловых процессов в блоке; математическое ядро программы автоматически по построенной пользователем топологической модели формирует математическую модель и производит ее решение с заданными исходными данными;

– данные, получаемые в ПК ТРиАНА (демонстрация), подтверждаются результатами физического моделирования и могут применяться для оценки теплового режима РЭС.

**Литература**

1. Дульнев Г. Н., Парфенов В. Г., Сигалов А. В. Методы расчета теплового режима приборов. М.: Радио и связь, 1990.

2. Пестряков В. Б., Аболтинь-Аболинь Г. Я., Гаврилов Б. Г., Шерстнев В. В. Конструирование радиоэлектронных средств / Под ред. В. Б. Пестрякова. М.: Радио и связь, 1992.