

621.382.82(07)

Р 851

№

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ



**Таганрогский государственный
радиотехнический университет**

РУКОВОДСТВО К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

**АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ
ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ
В СИСТЕМЕ MENTOR GRAPHICS**

Для студентов специальностей 200200, 200800, 201900,
220100, 220300, 220500 и направлений 550700, 551100

**ФЭП
НКБ ВС**

**БАЗОВАЯ УЧЕБНО-НАУЧНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ НКБ ВС И
УНТЦ ФЭП «ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ»**

Таганрог 2001

УДК

Составители: Б.Г. Коноплев, И.И. Итенберг, П.Г. Грицаенко, В.В. Пугач,
Е.А. Рындин, В.Г. Ивченко, Е.Т. Замков

Руководство к лабораторной работе «Анализ тепловых режимов электронных устройств в системе Mentor Graphics». Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2001. 32 с.

Цикл лабораторных работ по освоению студентами методов проектирования электронной аппаратуры с использованием рабочей станции Hewlett Packard подготовлен совместно сотрудниками ФЭП и НКБ ВС ТРТУ для базовой лаборатории «Проектирование электронных устройств».

В работе излагаются сведения, необходимые для анализа тепловых режимов электронных устройств с использованием подсистемы AutoTherm САПР Mentor Graphics в графической среде X-Window. Описаны основные режимы работы при разработке и анализе тепловых моделей электронных устройств.

Ил. 19. Библиогр.: 9 назв.

Рецензент

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование современной электронной аппаратуры, основу которой составляют печатные модули, как правило содержащие десятки сверхбольших интегральных схем (СБИС), невозможно представить без систем автоматизированного проектирования (САПР). Традиционными составляющими САПР являются различные подсистемы моделирования, в том числе моделирования тепловых режимов проектируемых устройств. Необходимость моделирования обусловлена сложностью современных конструкций и протекающих в них теплофизических процессов, их многомерностью, нестационарным и неравновесным характером.

Особенностью электронной аппаратуры является тесная взаимосвязь конструктивных (массогабаритных), электрических и теплофизических параметров. Поэтому оптимизация проектируемого изделия, как правило, ведется по многим показателям и с учетом предусмотренных ограничений по каждому из них. В результате при моделировании процессов теплообмена электронных узлов в современных САПР предусмотрен обмен данными с подсистемами проектирования топологии, моделирования электрических параметров, надежности и т.д. Иными словами, в данном случае тепловое моделирование следует рассматривать как составную часть процесса проектирования, причем качество проекта и затраченное время во многом определяются методикой или маршрутом проектирования – последовательностью различных этапов синтеза, верификации, моделирования.

Предлагаемая лабораторная работа посвящена изучению подсистемы моделирования тепловых режимов электронной аппаратуры AutoTherm, являющейся составной частью одной из самых современных САПР для рабочих станций - Mentor Graphics.

Подсистема AutoTherm позволяет осуществить ввод конструктивных параметров моделируемого устройства и граничных условий (или загрузку соответствующих файлов из других приложений САПР) с использованием имеющихся в системе графических средств и библиотек, создать новые библиотечные элементы, задать метод охлаждения и учитываемые в процессе моделирования механизмы теплопередачи (кондукция, конвекция, излучение), произвести многомерное численное моделирование теплового режима методом конечных элементов, получить соответствующие выходные диаграммы и графики и т.д.

Мощная вычислительная база в виде рабочей станции, а также развитый и удобный интерфейс САПР Mentor Graphics позволяют разработчику с помощью подсистемы AutoTherm быстро и эффективно

решать задачи обеспечения оптимального теплового режима проектируемой электронной аппаратуры.

1. ТЕПЛООБМЕН В ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЕ

Любой электронный узел, прибор, модуль представляет собой преобразователь энергии. В процессе функционирования к нему подводится определенное количество электрической энергии, часть из которой расходуется непосредственно на выполнение заданной функции и называется полезной, а другая часть, как правило большая, выделяется в виде тепла и приводит к нагреву элементов конструкции. Отношение полезной к полной подводимой энергии называется коэффициентом полезного действия (к.п.д.) и определяет эффективность преобразования, а значит и основные конструктивные параметры проектируемой аппаратуры.

Общий баланс энергии в электронном модуле можно выразить уравнением

$$E_{\Pi} = E_1 + E_2 + E_3, \quad (1)$$

где E_{Π} - энергия, подводимая от источника питания; E_1 - полезная энергия на выходе модуля; E_2 - тепловая энергия, рассеиваемая в окружающую среду; E_3 - тепловая энергия, расходуемая на нагрев деталей и узлов.

От любого преобразователя всегда стремятся получить как можно более высокий к.п.д., выражающийся в данном случае уравнением

$$\text{к.п.д.} = E_1/E_{\Pi} = (E_{\Pi} - E_2 - E_3)/E_{\Pi} = 1 - (E_2 + E_3)/E_{\Pi}. \quad (2)$$

К.п.д. будет тем ближе к единице, чем меньше сумма $E_2 + E_3$, являющаяся функцией качества преобразования энергии электронным модулем.

Как правило, электронные приборы обладают низким к.п.д. – менее 0,4, а типичные значения составляют менее 0,01.

Если за определенный промежуток времени в элементе выделяется тепла больше, чем он способен рассеять в окружающую среду, то избыточное (нерассеянное) тепло идет на нагревание конструкции самого элемента. До тех пор, пока выделение тепла не будет полностью компенсироваться его рассеиванием, нагрев элемента будет прогрессировать. При этом одни элементы нагреваются быстрее, другие – медленнее. В зависимости от конструкции модуля и условий окружающей среды через некоторое время наступает установившийся режим, при котором дальнейший нагрев прекращается и в окружающее пространство

отдается постоянная тепловая энергия.

Отвод тепла от любого тела, а следовательно и от электронного устройства, в реальных условиях происходит за счет одновременного действия следующих механизмов теплообмена:

- кондукции (теплопроводности) – передачи тепловой энергии от одного атома к другим;
- конвекции – передачи тепловой энергии в жидкостях и газах за счет переноса вещества;
- радиации (излучения) – передачи тепловой энергии в виде электромагнитных волн.

Для определения количества тепла Q , передаваемого посредством теплопроводности за единицу времени через плоскую перегородку площадью S и толщиной b в стационарном режиме (при неизменных во времени температурах стенок перегородки T_1 , T_2) используют закон Фурье:

$$Q = (\lambda/b)S(T_2 - T_1), \quad (3)$$

где λ - коэффициент теплопроводности, характеризующий свойство материала. Единица измерения λ - [Вт/(м·К)].

Количество тепла, проходящее через единицу поверхности в единицу времени называют тепловым потоком q , который в рассматриваемом случае может быть выражен уравнением

$$q = Q/S = (\lambda/b)(T_2 - T_1). \quad (4)$$

Если обратиться к закону Фурье для теплопроводности (3), то можно заметить, что он напоминает закон Ома для электрического тока. На этом интересном факте построен так называемый метод электротепловой аналогии.

В табл. 1 приведены отношения аналогии между теплофизическими и электрическими величинами.

Подставляя в выражение для электрического сопротивления

$$R = \rho b/S, \quad (5)$$

соответствующие теплофизические величины из табл. 1, получим выражение для теплового сопротивления

$$R_T = b/(\lambda S). \quad (6)$$

Рассмотренная аналогия интересна не только как иллюстрация

общности физических процессов при прохождении в телах теплового потока и электрического тока, но имеет и практическую ценность, в значительной степени облегчая понимание механизма теплопроводности в сложных составных конструкциях. При необходимости тепловые цепи можно с успехом моделировать электрическими цепями. Это существенно облегчает проведение не только качественного анализа тепловых процессов, но и упрощает возможность получения количественных соотношений. Например, процесс передачи тепла через трехслойную перегородку может анализироваться с использованием эквивалентной схемы, состоящей из трех последовательно соединенных тепловых сопротивлений.

Таблица 1

Отношения аналогии между теплофизическими и электрическими величинами

Теплофизические величины			Электрические величины		
Величина	Обозн.	Ед.изм.	Величина	Обозн.	Ед.изм.
Температура	T	К	Потенциал	φ	В
Перегрев	ϑ	К	Напряжение	U	В
Тепловое сопротивление	R_T	К/Вт	Электрическое сопротивление	R	Ом
Мощность	P	Вт	Сила тока	I	А
Велич., обратная теплопроводности	$1/\lambda$	м·К/Вт	Удельное сопротивление	ρ	Ом·м

Для оценки количества теплоты, отводимого в газовую или жидкую среду (или подводимого из нее) посредством конвекции с плоской поверхности нагретого твердого тела в единицу времени, используют уравнение Ньютона

$$Q = \alpha S(T - T_{\text{п}}), \quad (7)$$

где T – температура окружающей среды; $T_{\text{п}}$ – температура поверхности твердого тела; α - коэффициент конвективного теплообмена, измеряемый в [Вт/(м²К)].

Определить коэффициент α расчетным путем, как правило, не удастся, поскольку он зависит от целого ряда факторов (скорость движения среды вдоль стенки, форма стенки, характер ее поверхности и др.). Поэтому на практике используют экспериментально найденные значения α .

Излучение при передаче тепловой энергии характеризуется длинами волн в диапазоне от 0,3 до 10 мкм и более.

При попадании электромагнитных волн на тело, часть их отражается от поверхности, а часть проникает внутрь тела. Угол между отраженным лучем и нормалью к отражающей поверхности равен углу между падающим лучем и той же нормалью. Такое отражение называют зеркальным или правильным.

При отражении от шероховатой поверхности луч рассеивается во всех направлениях. Такое отражение называют диффузионным.

Лучи, проникающие в тело, частично поглощаются им, а частично выходят через другую поверхность. Отношение энергии отраженного излучения к энергии падающего называют отражательной способностью тела R . Отношение энергии поглощенного излучения к энергии падающего называют поглощательной способностью A . Отношение энергии прошедшего сквозь тело излучения к энергии падающего называют пропускательной способностью D . Данные величины связаны друг с другом очевидным соотношением

$$R + A + D = 1. \quad (8)$$

Практически все тепловое излучение, проникающее внутрь даже очень тонких твердых тел поглощается. Поэтому при конструировании электронной аппаратуры, как правило, пользуются упрощенным соотношением (8):

$$R + A = 1. \quad (9)$$

Тело, от нагретой поверхности которого практически не происходит отражения ($R = 0$, $A = 1$), называют абсолютно черным. Отношение излучательной способности любого тела к излучательной способности абсолютно черного тела при той же температуре называют относительной излучательной способностью или степенью черноты тела ε . Степень черноты для большинства веществ зависит от температуры.

Теплопередача посредством излучения определяется законом Стефана-Больцмана

$$Q = \varepsilon S c_0 [T_{\Pi}^4 - T^4], \quad (10)$$

где c_0 – коэффициент лучеиспускания абсолютно черного тела.

Величина ε определяется как цветом поверхности, так и характером ее обработки. Необработанные поверхности обладают большей величиной ε , чем хорошо обработанные (например, полированные).

Поскольку тепловой поток при излучении определяется разностью четвертых степеней абсолютных температур охлаждаемого тела и окружающей среды, то эффективность теплопередачи излучением

значительно возрастает при больших разностях температур (порядка 100 К и выше).

Отвод тепла от нагретых поверхностей элементов электронного узла может производиться:

- контактным способом (за счет кондукции);
- естественным воздушным охлаждением;
- принудительным воздушным охлаждением;
- жидкостным охлаждением;
- испарением жидкости с охлаждаемой поверхности;
- за счет излучения и др.

Отвод тепла кондукцией осуществляется в тех случаях, когда охлаждаемое тело имеет хороший контакт с радиатором, а последний обладает высокой теплопроводностью, имеет достаточно большие теплоемкость и объем или может интенсивно отдавать свое тепло в окружающую среду.

Охлаждение конвекцией происходит за счет отбора тепла от охлаждаемого тела более холодными газами или жидкостями. В этом случае интенсивность отвода тепла определяется коэффициентом конвективного теплообмена α , который зависит от агрегатного состояния, химического состава, скорости и характера движения охлаждающего вещества (естественное, принудительное воздушное, жидкостное охлаждение).

Испарительные системы охлаждения для электронной аппаратуры применяются крайне редко в связи с жесткими ограничениями, накладываемыми в данном случае на температуру охлаждаемой поверхности, химический состав и объем испаряемой жидкости, конструктивную реализацию элементов.

Радиационный теплообмен непосредственно не используют для охлаждения электронных узлов, так как его эффективность при сравнительно низких разностях температур крайне мала. В космических летательных объектах элементы отдают свое тепло радиаторам, а они – только за счет излучения в окружающее пространство.

Следует отметить, что сложность конструкций современных электронных модулей приводит к необходимости численного решения в САПР дифференциальных уравнений (ДУ) в частных производных методами конечных разностей и конечных элементов.

В качестве примера можно привести стационарное уравнение теплопроводности

$$\operatorname{div}(\lambda(x, y, z)\operatorname{grad}(T)) + F(x, y, z) = 0, \quad (11)$$

где T – температура; x, y, z – координаты; $F(x, y, z)$ – интенсивность

источников тепла, являющееся обобщением уравнения (3) для произвольной геометрии задачи.

Численные методы решения используются в тех случаях, когда аналитически решить систему уравнений затруднительно. Суть этих методов состоит в том, что в системе, включающей основные уравнения (например, уравнения вида (11)) и уравнения, выражающие граничные условия, все частные производные заменяются конечными разностями, взятыми на генерируемой для конкретной геометрии задачи координатной сетке. Это позволяет перейти от системы ДУ к системе алгебраических уравнений, и таким образом, упростить решение задачи, допуская при этом погрешность, определяемую числом итераций и шагом координатной сетки.

2. ПОДГОТОВКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ К РАБОТЕ С ПРОГРАММОЙ AUTOTHERM

Пакет программ САПР Mentor Graphics выполняется под управлением операционной системы (ОС) HP-UX. Для доступа к сессии UNIX из-под ОС Windows, установленной на сетевой рабочей станции, служит программа графического терминала eXceed™. Эта программа запускается двойным щелчком левой кнопки манипулятора «мышь» на пиктограмме eXceed.

В появившемся диалоговом окне (рис. 1) необходимо выбрать ОК. Следующее окно (рис. 2) генерируется непосредственно операционной системой UNIX – в данном случае это приглашение ввести имя пользователя и пароль для входа.

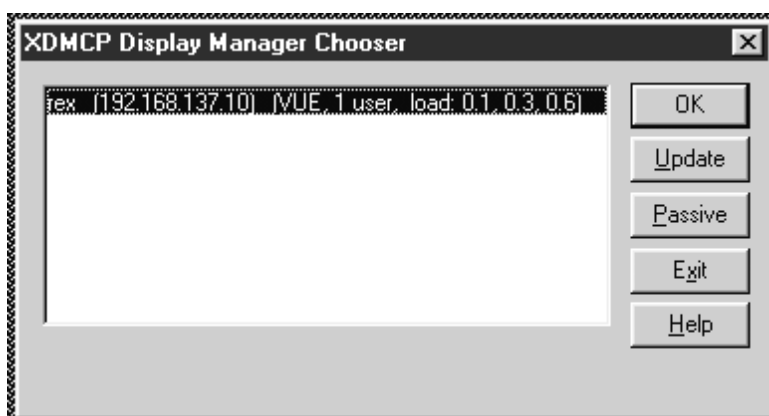


Рис. 1. Окно выбора для подключения к станции Unix



Рис. 2. Окно-приглашение ко входу в систему

После ввода имени и пароля загрузится рабочий стол ОС HP-UX, показанный на рис. 3. С этого момента можно начинать работу с UNIX.

Любой проект необходимо располагать в отдельном каталоге. Поэтому первым шагом будет создание каталога проекта. Это действие можно выполнить из командной строки в окне терминала (запуск – см. рис. 3), набрав:

```
mkdir <имя каталога>
```

Это же действие можно выполнить с помощью менеджера файлов, который запускается нажатием левой кнопки мыши на соответствующей пиктограмме (см. рис. 3). Окно менеджера файлов показано на рис. 4.

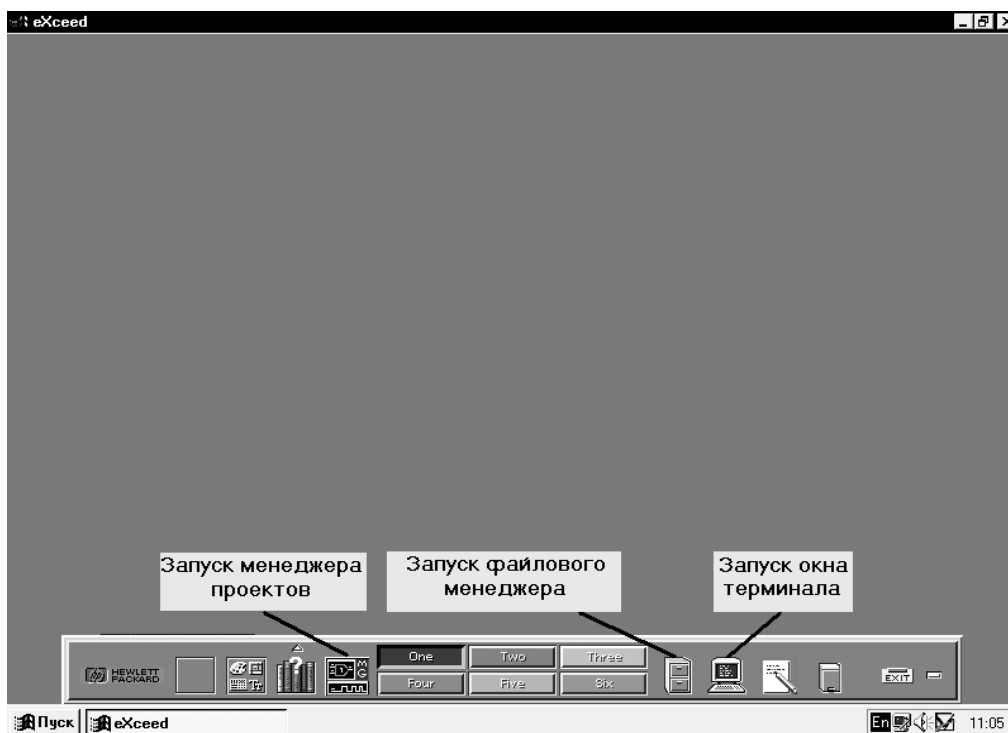


Рис. 3. Основное окно графического интерфейса VUE HP-UX

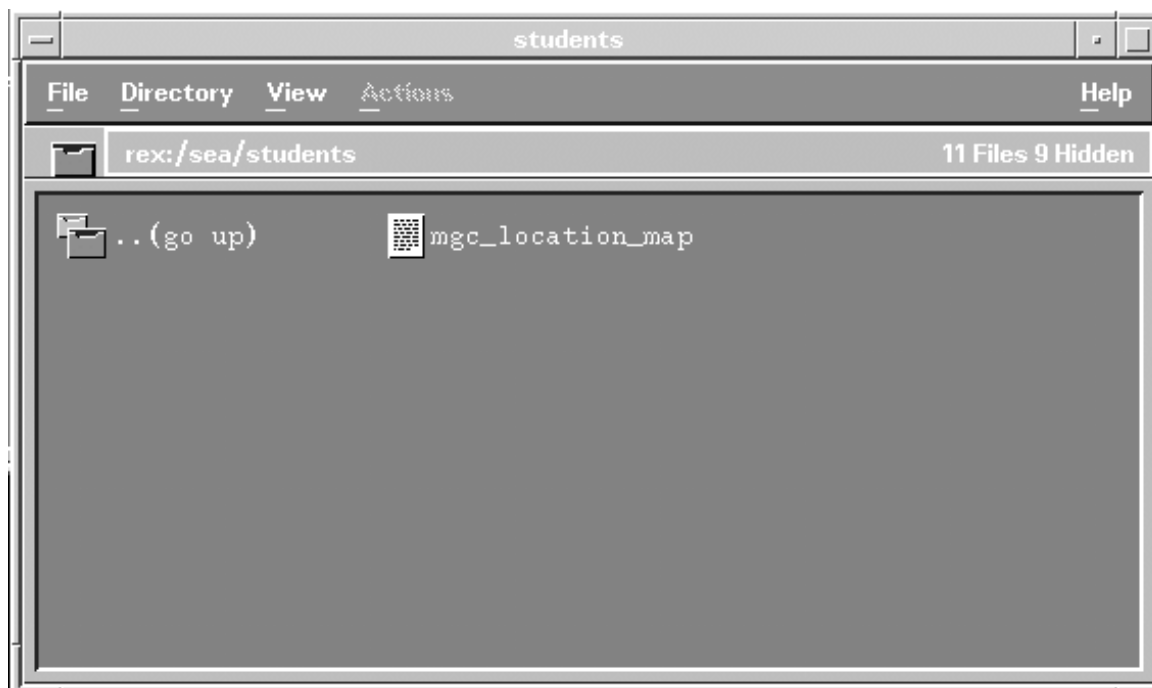



Рис.4. Окно менеджера файлов

Для создания каталога необходимо выбрать пункт меню Directory, далее – New, после чего в строке «New Directory Name» ввести имя каталога. После нажатия на ОК каталог будет создан.

Далее запускается программа Design Manager (менеджер проектов) щелчком на значке MG -  .

Менеджер проектов используется для управления проектами и вызова программных приложений. В верхней части окна расположено меню команд, в правой – палитра инструментов.

При вызове менеджера проектов появляются два заданных по умолчанию окна: Окно Инструментов (Tools) и окно навигатора файлов. Файлы в навигаторе представлены в виде иконок, внешний вид которых определяется типом файла и приложением, в котором был создан этот файл.

Запустить программу-приложение можно как из окна навигатора файлов, так и из окна Tools. В первом случае в окне навигатора файлов выделяется проектируемый объект. При однократном нажатии правой кнопки манипулятора "мышь" появляется всплывающее меню, в котором выбирается Open. В результате появляется список приложений, с помощью которых можно открыть выбранный проект.

Второй способ запуска программ-приложений заключается в запуске их из окна Tools (путем двойного нажатия левой кнопки манипулятора "мышь" на изображении иконки, обозначающей необходимое приложение).

3. АНАЛИЗ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА МОДУЛЯ С ПЕЧАТНЫМ МОНТАЖОМ

3.1. Создание тепловой модели

Теперь система готова к запуску программы теплового анализа AutoTherm. Для запуска программы в окне Tools выполняется двойной щелчок мышью по пиктограмме AutoTherm.



Первым шагом в процессе теплового анализа является одна из следующих операций:

- импорт тепловой модели из других подсистем САПР;
- открытие уже существующей модели;
- создание новой тепловой модели.

В данной работе предполагается разработка новой тепловой модели.

Создание модели начинается с создания нового проекта, для этого необходимо выполнить следующие операции:

1. Выбрать опускающийся элемент меню **File > New**.
2. В поле «New modelname» ввести имя файла, например mod1, затем ОК.

При создании новых моделей в AutoTherm необходимо установить единицы измерения длины. Для этого используется пункт меню **Setup > Units > Model**. Появляется диалоговое окно «Setup Model Unit», как показано на рис. 5.

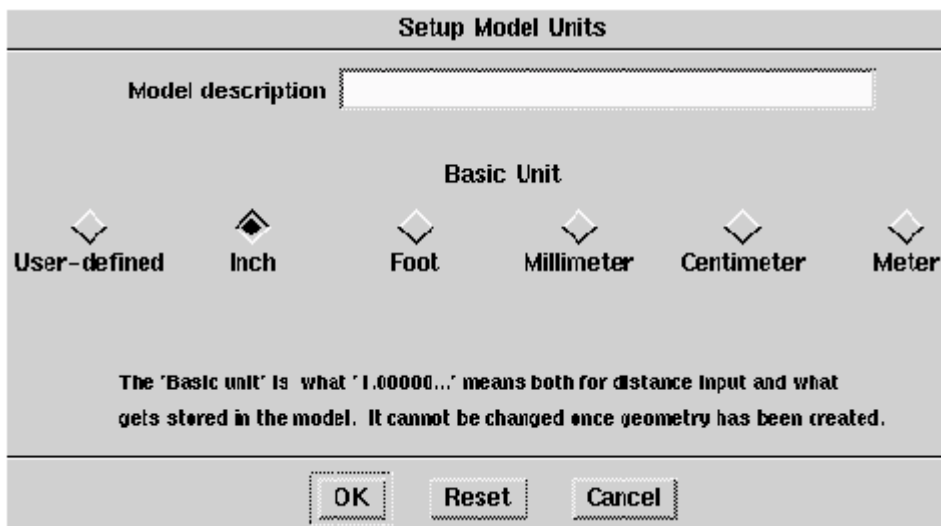


Рис.5. Окно настройки единиц измерения длины

В нашем случае необходимо выбрать в качестве базовой единицы измерения миллиметры, как соответствующие российской системе стандартов. В поле «Model Description» можно внести краткое описание

модели, например «This is the model file for lab».

3.2. Создание геометрической модели печатного модуля

Следующий этап – создание контура печатной платы устройства. Для этого необходимо выбрать опускающийся элемент меню **Add > Line > Beetwen Points**, как показано на рис. 6.

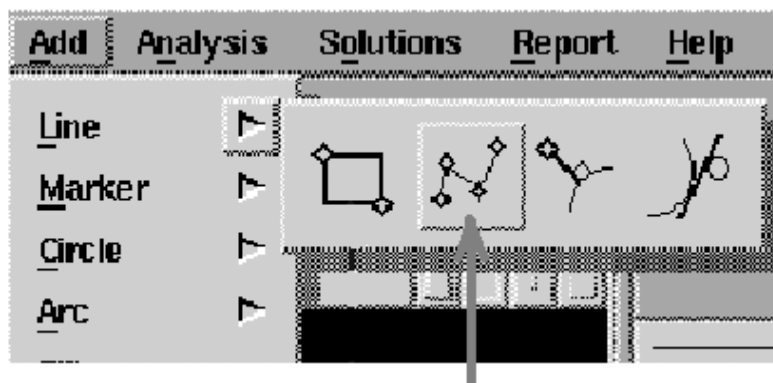


Рис.6. Элемент меню **Add > Line > Beetwen Points**

В результате этих действий появляется окно «Add Line Beetwen Points».

Щелчком правой кнопки мыши в поле окна модели необходимо вызвать всплывающее меню **Popur**, и в нем – элемент меню **Popur > Basepoint**.

Поместить курсор в окно просмотра проекта Win1 и выбрать элемент меню **Popur > Enter Point > Absolute**.

Примечание: в системе AutoTherm ввод координат может производиться двумя способами – в абсолютной системе координат, и относительно базовой точки в системе координат приращений (так называемая система дельта-координат). Базовая точка автоматически помещается в последнюю созданную точку.

Таким образом, в предлагаемом примере точка вводится в абсолютной системе координат.

Ввести в появившемся окне координаты первой точки, например, $X = 2.5$, $Y = 0$, и нажать ОК. Не закрывая окна «Add Line Beetwen Points», опять выбрать всплывающее меню и ввести координаты остальных точек:

$X = 167.5$, $Y = 0$;

$X = 170$, $Y = 2.5$;

$X = 170$, $Y = 190$;

$X = 160$, $Y = 200$;

$X = 10$, $Y = 200$;

$X = 0$, $Y = 193$;

$X = 0$, $Y = 2.5$;

$X = 2.5$, $Y = 0$.

Закреть окно нажатием кнопки **Cancel**.

Посл этого необходимо создать крепежные отверстия в плате. Для этого выбрать опускающийся элемент меню **Add > Circle > Center**, как показано на рис. 7.

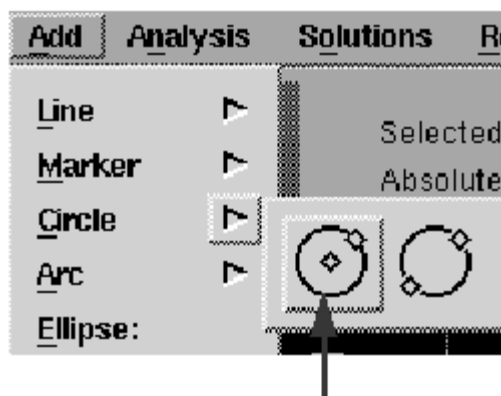


Рис.7. Элемент меню **Add > Circle > Center**

Выбрать всплывающий элемент меню **Popup > Basepoint**. Поместить курсор в окно просмотра проекта Win1 и выбрать элемент меню **Popup > Enter Point > Absolute**.

В окне «Enter Point Absolute» ввести координаты центра первого отверстия, например, $X = 15$, $Y = 7.5$.

Выбрать всплывающий элемент меню **Popup > Enter Point > Delta**. В окне «Enter Point Delta» ввести положение следующего центра в дельта-координатах: $X = 2$, $Y = 0$.

Создать аналогично шесть других отверстий с таким же радиусом и с центрами со следующими относительными координатами:

$X = 22.5$, $Y = 5$;

$X = 147.5$, $Y = 5$;

$X = 155$, $Y = 7.5$;

$X = 150$, $Y = 195$;

$X = 85$, $Y = 195$;

$X = 20$, $Y = 195$.

В результате будет отображена плата, приведенная на рис. 8.

В данный момент изображения отверстий рассматриваются AutoTherm как независимые объекты. Их необходимо выбрать совместно с контуром платы и объединить в одно целое.

Для этого нужно выбрать созданные отверстия и контур платы, нажав левую кнопку мыши, и выделив динамическим прямоугольником весь рисунок.

После этого выбрать опускающийся элемент меню **Edit > Make > Part**. Ввести имя элемента, например, **new_board**, затем нажать ОК. Таким образом создается новый элемент на основе группы имеющихся.

Выбрать опускающийся элемент меню **File > Save**, чтобы сохранить модель.

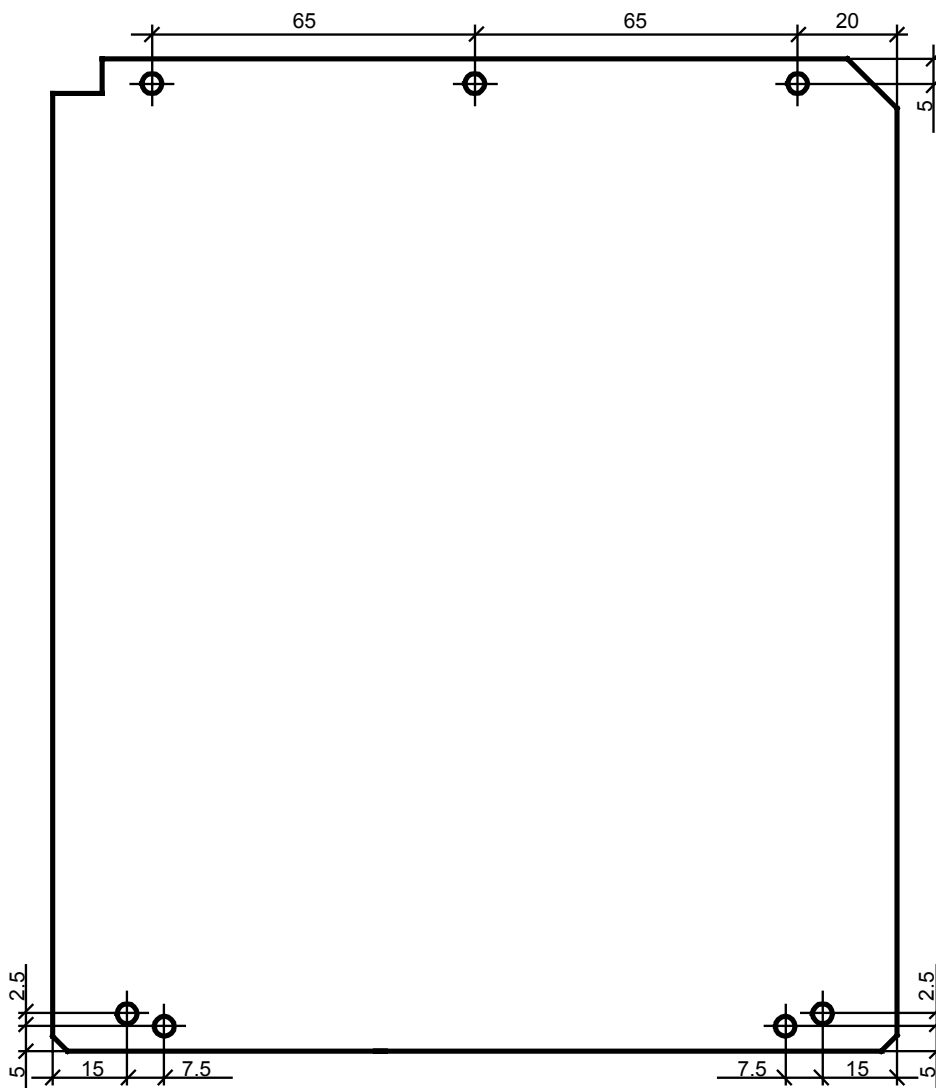


Рис.8. Созданное изображение печатного модуля

3.3. Создание символов элементов.

На созданной плате можно размещать символы навесных компонентов. Для построения их в виде прямоугольников необходимо выбрать опускающийся элемент меню **Add > Line > Rectangle**, как показано на рис. 9.

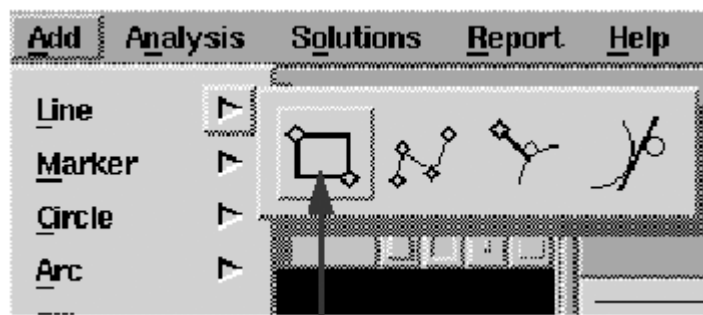


Рис.9. Создание символа элемента как прямоугольника

Выбрать всплывающий элемент меню **Popup > Enter Point > Absolute**. В окне подсказки ввести координаты первой точки, например, $X = 9$, $Y = 13$. Для ввода второй точки выбрать всплывающий элемент меню **Popup > Enter Point > Delta**. В окне подсказки ввести $X = 17$, $Y = 7$.

Изображение компонента должно появиться внутри контура платы. Далее можно скопировать этот элемент. Если элемент не выбран, то его предварительно следует выбрать, щелкнув на нем кнопкой мыши.

Выбрать опускающийся элемент меню **Edit > Copy > Translated**.

Отобразится окно подсказки «Copy Translated». Выбрать всплывающий элемент меню **Popup > Enter Point > Absolute** и, убедившись, что в окне подсказки остались координаты $X = 9$, $Y = 13$, нажать ОК.

Выбрать всплывающий элемент меню **Popup > Enter Point > Absolute**. В окне подсказки ввести $X = 138$, $Y = 13$, затем ОК. Появляется новый элемент в точке $X = 138$, $Y = 13$. Теперь он выделен, и процедуру копирования можно повторить для создания еще одного элемента в точке с координатами $X = 110$, $Y = 170$.

Таким образом созданы и размещены три элемента (конденсаторы C1, C2 и C3 учебной схемы). Для ввода остальных компонентов необходимо повторить процедуры создания и копирования согласно табл. 2, соответствующей схеме примера.

Таблица 2

Координаты вводимых элементов

Элемент	Начальная координата		Приращение	
	X	Y	ΔX	ΔY
C1	9	13	17	7
C2	138	13		
C3	110	170		
C6	3	20	5	7
C9	41	28		
C15	83	28		
C7	125	28		
C10	154	75		
C11	87	93		
C13	78	176		
C14	58	144		
C18	91	170		
C5	45	168	4	12
D2	6	33	28	8

Элемент	Начальная координата		Приращение	
	X	Y	ΔX	ΔY
D3	52	33		
D12	93	33		
D13	135	33	20	7
D5	135	60		
D6	100	60		
D 4	100	96		
D8	135	96		
D17	65	96		
D16	65	125		
D1	11	174		
D9	11	158		
D10	52	158		
D7	37	59	50	15
D14	98	122	62	15
D15	98	143		
D11	8	125	30	14
A1	8	95		
R23	10	48	10	10
R24	10	61		
R3	40	168	2	6
R7	8	75		
R4	13	75		
R5	18	75		
R6	22	75		
R14	44	107		
R18	59	100		
R20	62	180		
R11	54	130		
R21	87	135		
R10	80	154	6	2
R16	70	153		
R19	70	149		
R15	100	162		

Элемент	Начальная координата		Приращение	
	X	Y	ΔX	ΔY
R9	125	162		
R13	80	158		
R17	72	92		
R12	62	84		
R22	113	113		
VT1	110	163	7	2
VT2	74	85		
VD1	146	168	2	6
VD2	149	168		
VD6	58	130		
VD5	80	163	6	2
VD4	152	109		
VD3	138	109		

При необходимости элементы можно подписать. Это можно сделать с помощью опускающегося элемента меню **Add > Detail > Text**, как это показано на рис. 10. В появившемся окне ввести необходимый текст, а затем с помощью мыши установить его в требуемом месте.

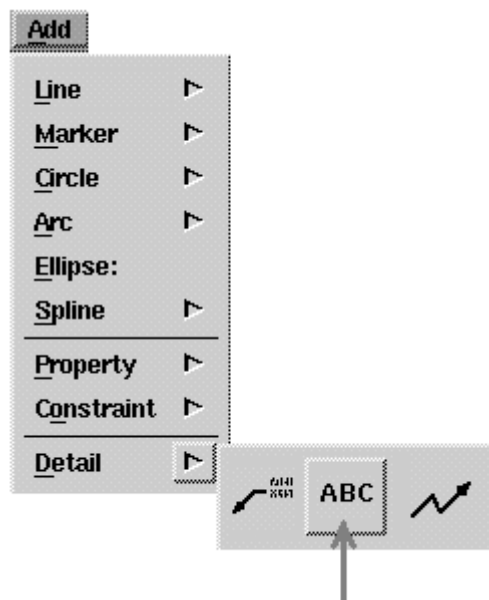


Рис.10. Опускающийся элемент меню **Add > Detail > Text**

Созданная плата представлена на рис.11.

Замечание: При создании геометрической модели компонента для теплового анализа необходимо соблюдать следующие правила:

1. Только объект, представляющий замкнутую область, распознается как тепловой компонент. Если контур изображения разъединен или открыт, невозможно идентифицировать объект для теплового анализа

2. Непрерывные, но не связанные геометрические элементы, типа линии сегмента и дуги не распознаются.

Опускающийся элемент меню **Edit > Make > Part** группирует различные геометрические элементы вместе в один объект.

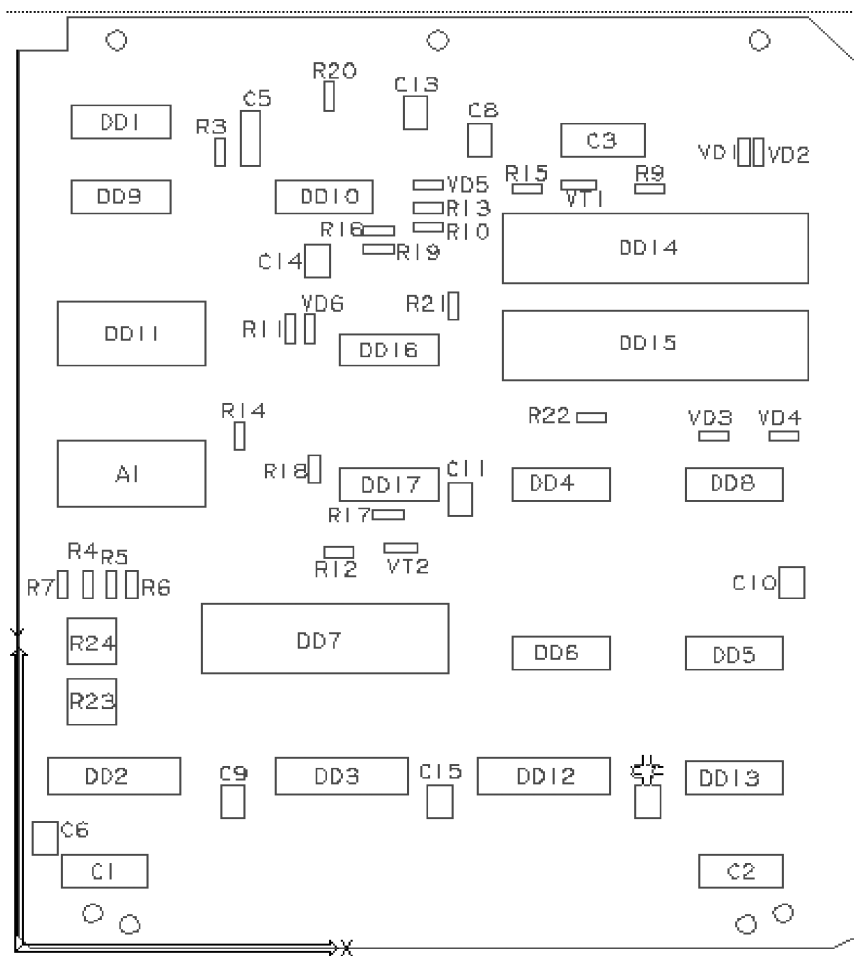


Рис.11. Разработанная геометрическая модель печатного модуля

3.4. Редактирование тепловых свойств печатного модуля

В AutoTherm используется набор свойств для описания теплового поведения элементов модели.

Первый шаг при редактировании свойств – назначение имени идентификатору, имеющему значение имени модели mod1. Для этого необходимо выделить контур платы, выбрать всплывающий элемент меню **Add > Property > To Selected** и ввести имя (например, **BOARD_NAME**) в поле, соответствующем имени модели mod1, и затем нажать ОК.

Ввод общих тепловых свойств для выделенной группы элементов модели доступен через элемент меню **Add > Property > Thermal Template** (рис. 12).

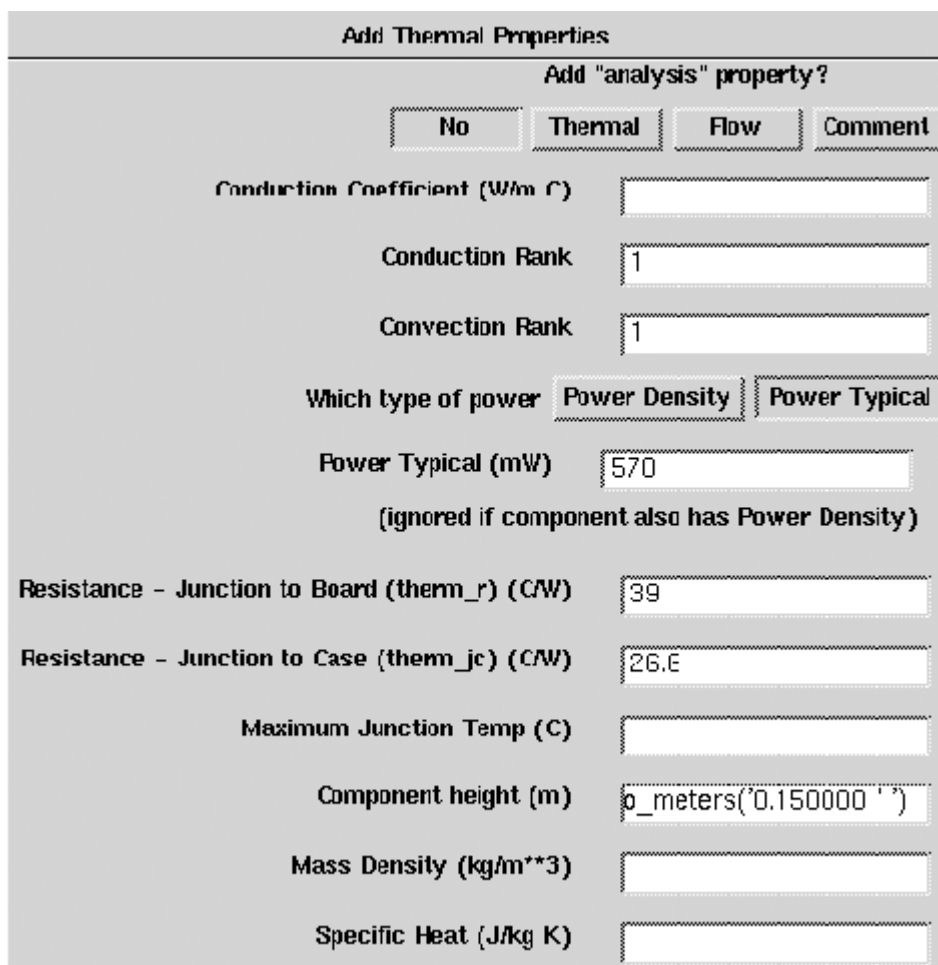


Рис. 12. Диалоговое окно Add Thermal Properties

В данном диалоговом окне для выделенной платы необходимо установить следующее:

Add "analysis" property?: Thermal
Convection rank: 0

Программа AutoTerm позволяет учитывать следующие основные характеристики:

1. Analysis – возможные значения: «No», «Thermal», «Flow», «Comment». Определяет вид выполняемого теплового анализа.

2. Conduction Coefficient (Therm_cond) – задает коэффициент теплопроводности. Единица измерения – Вт/(°C*10⁻³).

3. Conduction Rank – коэффициент учета теплопроводности. Безразмерная величина.

4. Convection Rank – коэффициент учета конвекции. Безразмерная

величина.

5. Which type of power – возможные значения: «Power density» «Power typical». Определяет выбор типа рассеиваемой мощности. Единица измерения – мВт.

6. Resistance – Junction to Board (therm_r) – тепловое сопротивление между переходом компонента и платой. Единица измерения – °С/Вт.

7. Resistance – Junction to Case (therm_jc) – тепловое сопротивление между переходом компонента и его корпусом. Единица измерения – °С/Вт.

8. Maximum Junction Temp (Junction_max_t) – максимально допустимая температура р-п-перехода полупроводникового прибора. Единица измерения – °С.

9. Component height (Comp_height) – высота компонента. Используется при учете конвекции. Единица измерения – м.

10. Mass Density (Mass_density) – плотность вещества. Единица измерения – кг/м³.

11. Specific Heat (Spec_heat) – удельная теплоемкость. Единица измерения – Дж/(кг*К).

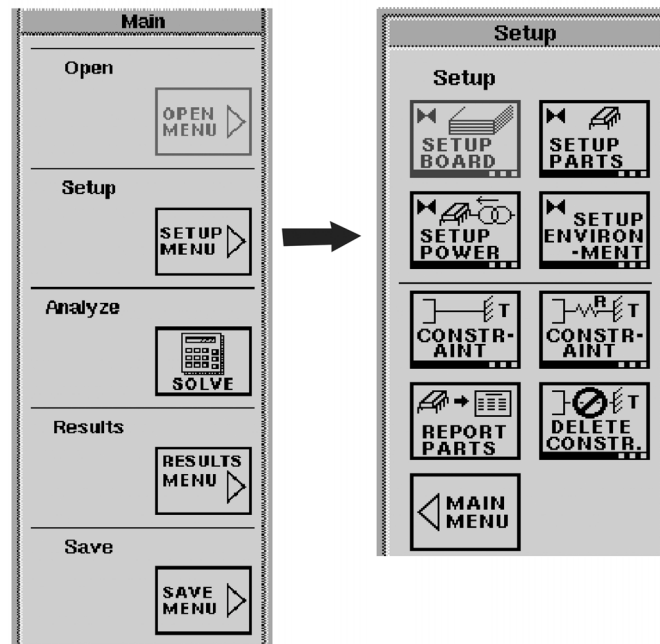
Как видно, в данном случае установлен режим без учета конвекции.

Примечание: В случае, если проект печатного модуля импортирован из других подсистем Mentor Graphics, нет необходимости устанавливать свойство Analysis в значение thermal, так как это выполняется автоматически при выполнении импорта.

Для контроля выполненных назначений необходимо выбрать опускающийся элемент меню **Report > Selected**. В диалоговом окне «Selected Report» видно, что плата теперь идентифицирована двумя свойствами: analysis = thermal и BOARD_NAME = mod1.

Ввод остальных тепловых свойств платы доступен через пиктограмму меню **Main > Setup Menu > Setup Board** (рис. 13). В диалоговом окне «Setup Board Thermal Conductivity» (рис. 14) ввести для рассмотренного примера следующие свойства:

Thickness units: mm	- единицы измерения толщины
Thickness (see Thickness units above): 1,5	- толщина диэлектрика
Conductivity (W/mC): FR4 (Еpoxy-Glass) 0.26	- проводимость диэлектрика (выбирается из списка)
Thickness (see Thickness units above): 0.7	- общая толщина проводящих слоев
Conductivity (W/mC): Copper (Olin 262)	- проводимость проводника (выбирается из списка)

Рис.13. Доступ к настройкам через меню **Main**

Setup Board Thermal Conductivity

Example of board with 3 conductivity layers

1	FR4	0.02"
2	Copper	0.0014"
3	FR4	0.02"

Thickness units mm in

Percent coverage for board layers:

Enter a thickness value and a conductivity value for each layer

Thickness (see Thickness units above)	Conductivity (W/mC)						
<input type="text"/>	<input type="button" value="From list"/> <input type="button" value="Type in"/>						
	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: left;">FR4 (Epoxy-Glass)</td> <td style="text-align: right;">0.26</td> <td style="text-align: center;">▲</td> </tr> <tr> <td style="text-align: left;">Copper (Olin 194)</td> <td style="text-align: right;">262</td> <td style="text-align: center;">▼</td> </tr> </table>	FR4 (Epoxy-Glass)	0.26	▲	Copper (Olin 194)	262	▼
FR4 (Epoxy-Glass)	0.26	▲					
Copper (Olin 194)	262	▼					
(there will be one blank row at the end)							
<input type="button" value="Help on Board Conductivity..."/>							

Рис.14. Диалоговое окно «Setup Board Thermal Conductivity»

Таким образом, введены свойства следующих трех слоев (рис. 15):



Рис.15. Слои печатной платы

Выводится окно с сообщением о том, что величина тепловой проводимости платы составила $\text{Therm_cond} = 36.44 \text{ Вт}/(\text{°C} \cdot 10^{-3})$. После того, как свойства платы установлены, можно задать свойства компонентов.

3.5. Редактирование тепловых свойств компонентов

Свойства компонентов в рассматриваемом примере вводятся в соответствии с табл. 3.

Таблица 3

Свойства компонентов и их значения

Группа элементов	Property name	Value	analysis	Type of power	Power Typical (mW)	Тип корпуса	Convection rank			
R1 - R22	part_name	RA	Thermal	Power Typical	125		2			
R23, R24		RB			500					
VD1 -VD4		VDA			120					
VD5, VD6		VDB			50					
VT1, VT2		VT			15					
D1, D5, D6		DA			34.65	DIP14				
D2, D3, D12		DB			750	DIP20				
D4, D9		DC			52.5	DIP16				
D8		DD			50.45	DIP14				
D7		DE			500	DIP40				
D10, D13		DF			236.25	DIP14				
D11		DG			525	DIP24				
D14, D15		DH			180	DIP48				
D16, D17		DJ			42	DIP14				
A1		DI			56	DIP24				
C1 - C15		CA			Comment	-		-	-	-

Выделить необходимую группу компонентов (компоненты в одной группе будут иметь одни свойства) ориентируясь на табл. 3.

Выбрать опускающийся элемент меню **Add > Property > To Selected**. В окне подсказки ввести согласно таблице значения «New property name» и «Value». Например (см. табл. 3):

New property name: part_name

Value: RA

На следующем шаге необходимо добавить требуемые тепловые свойства компонентам. Для этого выбрать опускающийся элемент меню **Add > Property > Thermal Template** (см. рис. 12).

В диалоговом окне «Add Thermal Properties» ввести данные согласно таблице (оставить все другие значения по умолчанию или пустыми). Например (см. табл. 3):

```
Add "analysis" property?: Thermal
Which type of power: Power Typical
Power Typical (mW): 125
Convection rank: 2
```

Величины $therm_r$ и $therm_jc$ необходимо вычислить с помощью элемента меню **Add > Property > Computed Therm_r, Therm_jc**.

В появившемся окне необходимо ввести соответствующий тип корпуса для каждого вида элементов и нажать ОК.

Проконтролировать правильность введенных данных можно с помощью опускающегося элемента меню **Report > Selected**.

После этого можно выделять следующую группу элементов и задавать параметры аналогично предыдущему примеру.

Созданную модель необходимо сохранить с помощью элемента меню **File > Save**.

После добавления всех необходимых свойств элементам модели можно приступить к заданию граничных условий, типа решения и, наконец, к моделированию.

3.6. Установка граничных условий

Как отмечалось ранее, AutoTherm позволяет учитывать при анализе все три механизма теплопередачи. В изучаемом маршруте моделирования теплового режима рассматриваются два механизма – передача тепла за счет теплопроводности и путем естественной конвекции.

Для выполнения моделирования необходимо задать определенные граничные условия.

В случае учета теплопроводности требуется указать границы с константной температурой. Такие условия соблюдаются при закреплении платы на радиаторе по указанной границе.

При моделировании естественной конвекции необходимо указать положение платы в пространстве и температуру окружающей среды.

Для выбора вида анализа служит диалоговое окно «Setup Environment» (рис. 16). Оно доступно через пиктограмму меню **Main > Setup Menu > Setup Environment**.

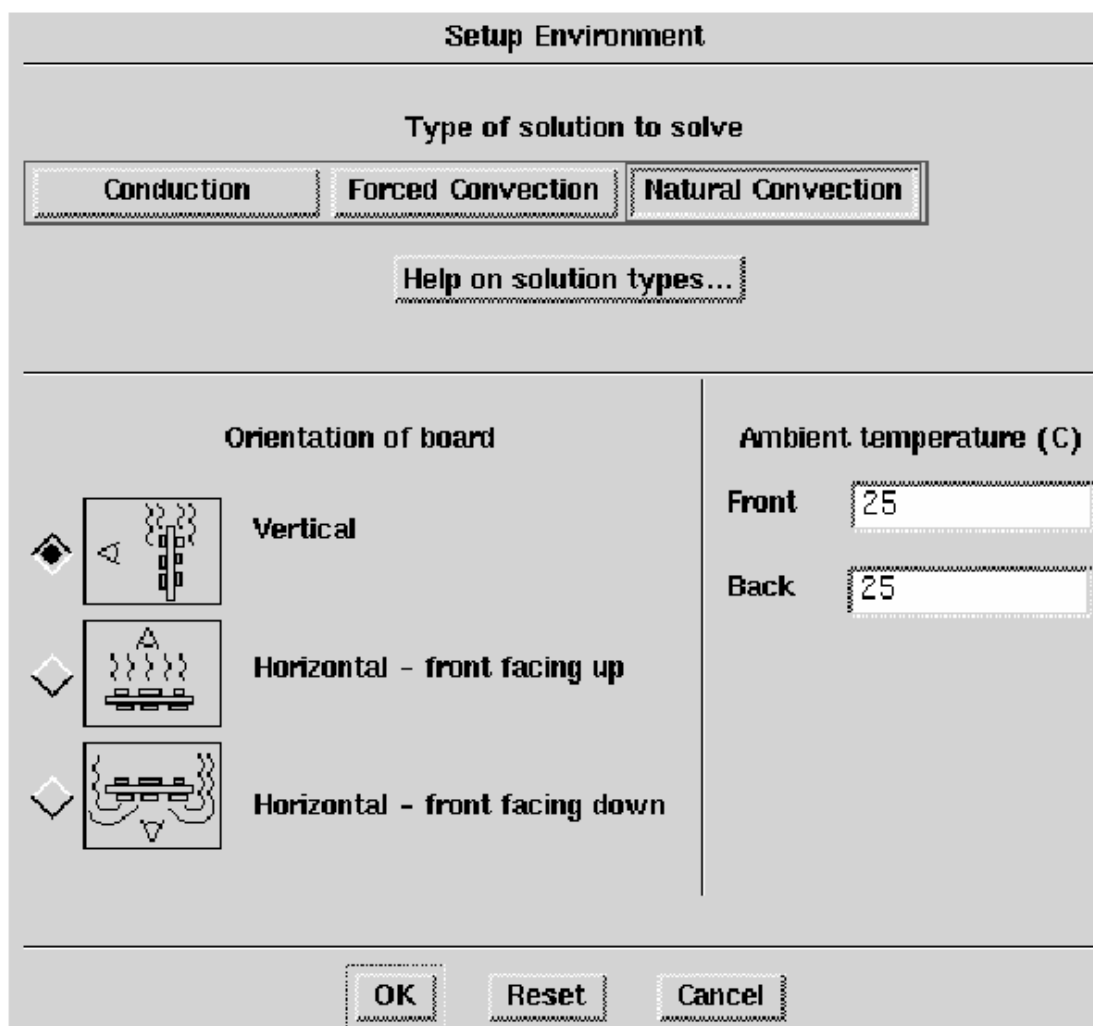


Рис.16. Диалоговое окно Setup Environment

Чтобы задать ограничения для теплопередачи, необходимо в диалоговом окне «Setup Environment» выбрать Conduction, затем выбрать пиктограмму меню **Main > Setup Menu > Constraint T**. Отображается окно Add Conductive Constraint. Ввести в окне подсказки значение температуры – Temperature (например, 33 °C), затем нажать Tab, чтобы ввести расположение тепловой границы – From. Указать курсором мыши необходимый край платы и выполнить двойной щелчок. Выбранный край платы изменит цвет на желтый.



Для исправления ошибочно введенного ограничения используется пиктограмма «Delete Constraint». С помощью появившегося динамического прямоугольника можно указать на необходимую грань. Для этого, удерживая кнопку мыши, переместить курсор над ограничением. Когда оно окажется внутри динамического прямоугольника, отпустить кнопку мыши.



Для задания ограничений естественной конвекции необходимо в диалоговом окне «Setup Environment» выбрать «Natural Convection». В

появившихся настройках необходимо выбрать положение платы из предлагаемых вариантов и указать температуру с каждой стороны платы (см. рис. 16).

При выборе любого типа конвекции AutoTherm при анализе учитывает также теплопроводность за счет кондукции.

3.7. Моделирование и анализ результатов

Запуск моделирования обеспечивается через пиктограмму меню **Main > Solve** (см. рис. 13). По его окончании выдается соответствующее информационное сообщение.

После этого можно оценить результаты теплового анализа. Для этого служит пиктограмма меню **Main > Results**.

Пиктограммы меню Results позволяют получить:

- карту изотерм (Map Board);
- карту температур переходов (Map Junct.);
- карту температур поверхности элементов (Map Case);
- карту перегревов (Map Critic);
- карту температуры окружающей среды (Map Ambient);
- карту потоков воздуха (Map Flow);
- график температуры на заданном отрезке платы (Graph);
- полный файл отчета (Report Temps).

Пояснений требует только построение графика температуры на заданном отрезке платы. Для его отображения необходимо выбрать пиктограмму меню **Results Menu > Graph**, после чего отобразится окно запроса начальной и конечной точек на плате для последующего просмотра графа по линии между этими точками. Выбор точек осуществляется с помощью мыши.

Анализ полученных отчетов позволяет выявить недопустимые перегревы элементов, либо выделить области печатного модуля с повышенным риском выхода из строя элементов из-за высокой температуры.

3.8. Коррекция конструкции печатного модуля

Для исправления выявленных на предыдущем этапе недостатков конструктор может применить следующие средства:

- скорректировать физические свойства компонентов (фактически – выбрать другие элементы);
- скорректировать физические свойства платы;
- изменить конструкцию модуля, перемещая менее надежные элементы из сильно нагретых зон;
- переориентировать плату в пространстве;
- изменить режим охлаждения, применив, где необходимо радиаторы, принудительную конвекцию и т.д.

В рамках данной работы рассмотрим первые четыре возможности.

Корректировка значений рассеиваемой мощности доступна через пиктограмму меню **Main > Setup Menu > Setup Power**. При ее выборе открывается диалоговое окно «Component Typical Power» (рис. 17), с помощью которого можно назначать и оценивать значения мощности Pow_typ как для индивидуальных компонентов, так и для групп однотипных элементов, как показано на рис.18.

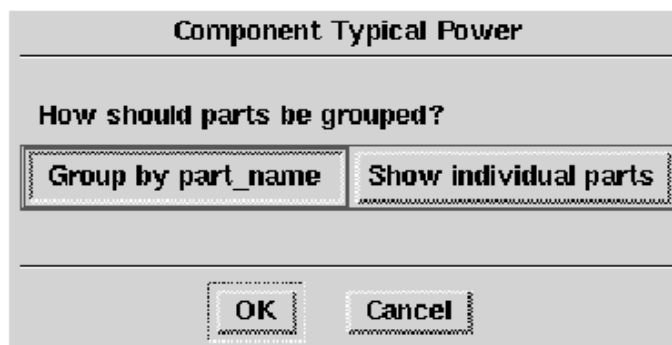


Рис.17. Диалоговое окно «Component Typical Power»

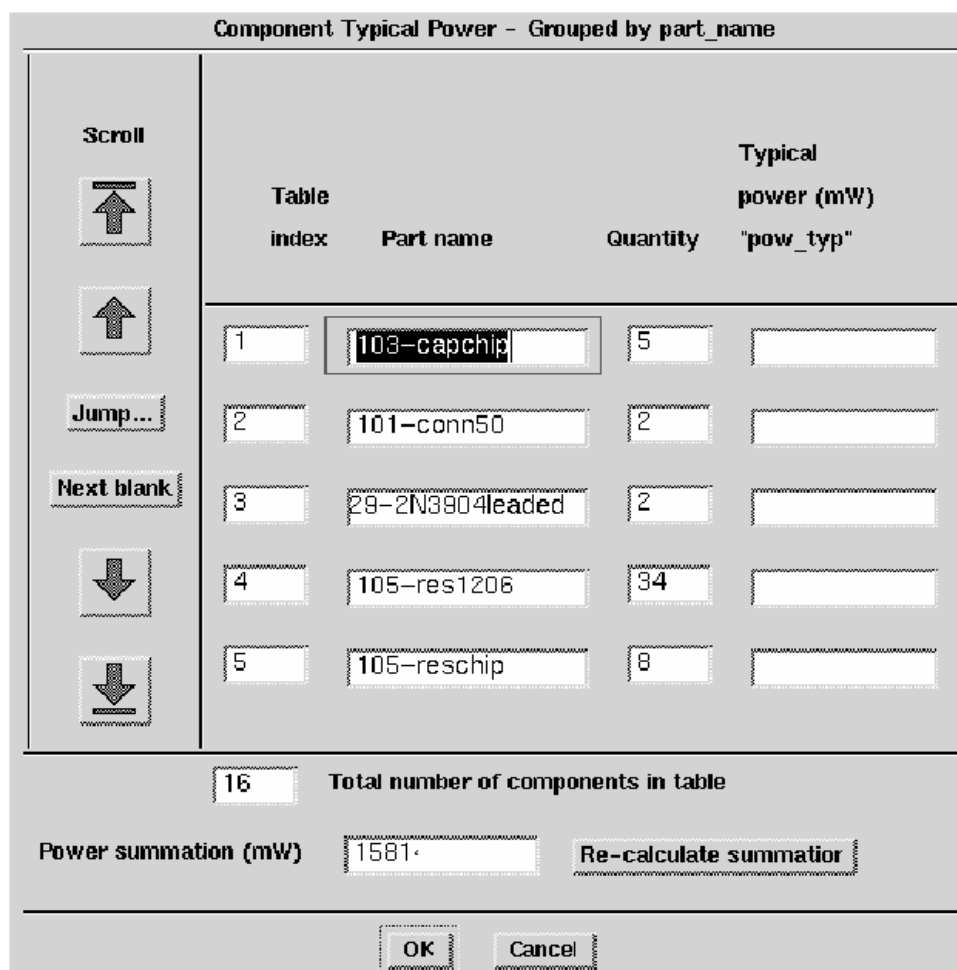


Рис.18. Диалоговое окно «Component Typical Power - Grouped by part_name»

Коррекция значений тепловых сопротивлений между переходом компонента и платой (therm_r) и между переходом компонента и его корпусом (therm_jc) для каждого элемента доступна через пиктограмму меню **Main > Setup Menu > Setup Parts**. Ее выбор вызывает диалоговое окно «Component Physical Properties» (рис.19).

Component Physical Properties						
			Resistance		Resistance	
			Junction to	Junction to	Resistance	
			Board (C/W)	Case (C/W)	Calculator	
Table	Geometry		Board (C/W)	Case (C/W)	Resistance	
index	Part name	Quantity	Type	"therm_r"	"therm_jc"	Calculator
	100-capchip	5	cc0C05			Compute...
	101-conn50	2	ncnn50			Compute...
	28-2N390/leaded	2	to39			Compute...
	105-res1206	34	cc1210			Compute...
	105-reschip	8	cc1210			Compute...
Total number of components in table					Help on Compute...	
		OK	Cancel			

Рис.19. Диалоговое окно «Component Physical Properties»

Кроме редактирования величин тепловых сопротивлений, в данном окне можно назначить элемент к другой группе элементов, сменив его тип в окне «Geometry Type». Этим также можно изменять его свойства.

Изменение свойств платы аналогично рассмотренному в разделе 3.4. Редактирование геометрической модели рассматривалось в разделе 3.3. Изменение ориентации платы в пространстве учитывается, как было показано в разделе 3.6.

4. ПОДГОТОВКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Изучить материал, излагаемый в данном методическом пособии по подготовке вычислительной системы к работе с программой AutoTherm, настройке режимов работы программы, разработке тепловой модели,

получению и отображению результатов моделирования.

Составить заготовку отчета по лабораторной работе, принимая во внимание, что завершённый отчет по выполненной работе должен содержать титульный лист, цель работы, описание маршрута разработки тепловой модели и моделирования устройства, вариант задания, отчет о введенных данных и выполненных настройках, результаты выполнения этапов маршрута моделирования, выводы по работе.

Подготовить ответы на контрольные вопросы.

5. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

1. Получить у преподавателя вариант задания – принципиальную схему устройства, таблицу с данными о геометрических размерах элементов и рассеиваемой ими мощности, предельно допустимых температурах приборов, типы и наименования материалов слоев платы, ее геометрические размеры.

2. Подготовить вычислительную систему к работе с программой AutoTherm.

3. Создать тепловую модель печатного модуля.

4. Выполнить тепловое моделирование устройства с учетом только кондукции. Отобразить в отчете карту изотерм и карту перегревов р-п-переходов. Сделать выводы о допустимости полученного теплового режима. Выполнить, если необходимо, коррекцию тепловой модели печатного модуля.

5. Выполнить тепловое моделирование устройства с учетом кондукции и конвекции. Отобразить в отчете карту изотерм и карту перегревов р-п-переходов. Сделать выводы о допустимости полученного теплового режима. Выполнить, если необходимо, коррекцию тепловой модели печатного модуля.

6. Отобразить в отчете результаты оптимизации конструкции модуля.

7. Осуществить выход из САПР и операционной системы.

8. Завершить оформление отчета.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какими составляющими определяется баланс энергии в электронном модуле?
2. Как выражается к.п.д. электронного узла?
3. За счет каких физических механизмов осуществляется теплообмен в электронной аппаратуре?
4. Теплопроводность. Закон Фурье.
5. Конвекция. Уравнение Ньютона.
6. Теплопередача за счет излучения. Уравнение Стефана-Больцмана.

7. Что называется тепловым потоком?
8. В чем состоит метод электротепловой аналогии?
9. Как выражается тепловое сопротивление?
10. Что называется отражательной, поглотительной и пропускательной способностью тела?
11. Какое тело называется абсолютно черным?
12. Что называют степенью черноты тела и от чего она зависит?
13. Какие способы охлаждения и при каких условиях используют в электронной аппаратуре?
14. В чем состоит суть численных методов решения систем дифференциальных уравнений?
15. Как создается каталог проекта? Как создается новый проект?
16. Какие характеристики необходимо указывать при создании новой модели?
17. Привести последовательность этапов создания геометрической модели платы.
18. Привести последовательность этапов создания геометрических моделей компонентов.
19. Какие основные правила необходимо соблюдать при создании геометрической модели компонента?
20. Привести последовательность этапов редактирования тепловых свойств платы.
21. Привести последовательность этапов редактирования тепловых свойств компонентов.
22. Какие граничные условия устанавливаются при моделировании теплопередачи за счет кондукции?
23. Какие граничные условия устанавливаются при моделировании теплопередачи за счет естественной конвекции?
24. Какие виды графических отчетов доступны в AutoTherm для анализа теплового режима?
25. Какие изменения в конструкции устройств применяют для коррекции теплового режима?
26. Каким путем можно редактировать свойства отдельных компонентов?

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство к лабораторной работе «Работа в графической среде X-Window операционной системы HP-UX». Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. 36 с. (№2925)
2. Роткоп Л.Л., Спокойный Ю.Е. Особенности тепловых режимов при конструировании РЭА. М.: Сов. радио, 1976. 356 с.
3. Яншин А.А. Теоретические основы конструирования,

- технологии и надежности ЭВА: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1983. – 312 с
4. Преснухин Л.Н., Шахнов В.А. Конструирование электронных вычислительных машин и систем. М.: Высш. шк., 1986. 508 с.
 5. Поляков К.П. Конструирование приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры. М.: Радио и связь, 1982. 128 с.
 6. Руководство к лабораторной работе «Моделирование цифровых схем с использованием САПР Mentor Graphics». Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1999. 24 с. (№2843)
 7. Руководство к лабораторной работе «Проектирование специализированных СБИС на основе ПЛИС с использованием САПР Mentor Graphics». Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. 43 с. (№2917)
 8. Руководство к лабораторной работе «Графический редактор электрических схем в САПР Mentor Graphics». Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. 25 с. (№2924)
 9. Руководство к лабораторной работе «Моделирование специализированных СБИС с использованием языка VHDL». Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. 20 с. (№2992)

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ТЕПЛООБМЕН В ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЕ	4
2. ПОДГОТОВКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ К РАБОТЕ С ПРОГРАММОЙ AUTOTHERM.....	9
3. АНАЛИЗ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА МОДУЛЯ С ПЕЧАТНЫМ МОНТАЖОМ.....	12
3.1. Создание тепловой модели.....	12
3.2. Создание геометрической модели печатного модуля	13
3.3. Создание символов элементов.....	15
3.4. Редактирование тепловых свойств печатного модуля	19
3.5. Редактирование тепловых свойств компонентов.....	23
3.6. Установка граничных условий	24
3.7. Моделирование и анализ результатов.....	26
3.8. Коррекция конструкции печатного модуля.....	26
4. ПОДГОТОВКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ.....	28
5. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ.....	29
6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	29
ЛИТЕРАТУРА	30
СОДЕРЖАНИЕ.....	31

**Коноплев Борис Георгиевич
Итенберг Игорь Ильич
Грицаенко Павел Григорьевич
Пугач Влентин Васильевич
Рындин Евгений Адальбертович
Ивченко Владимир Геннадьевич
Замков Евгений Терентьевич**

Руководство к лабораторной работе

**Анализ тепловых режимов электронных устройств в системе
Mentor Graphics**

Ответственный за выпуск
Редактор
Корректор

Ивченко В. Г.

ЛР 020565 от 23.06.1997 г.
Печать офсетная
Формат 60 x 841/16
Усл. п. л. – 2,0
Заказ N

Подписано к печати
Бумага офсетная
Уч.- изд. л. – 1,8
Тираж 150 экз.

“С”

Издательство Таганрогского государственного
радиотехнического университета
ГСП 17А, Таганрог, 28, Некрасовский, 44
Типография Таганрогского государственного
радиотехнического университета
ГСП 17А, Таганрог, 28, Энгельса, 1