

УДК 004.42+004.65+62-711

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОХЛАДИТЕЛЕЙ ДЛЯ СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

И.Н. Филоненко, Г.А. Улицкий, Н.А. Шиндяпкин

Температурный диапазон работы является ограничением для получения больших мощностей в полупроводниках. Решением этой проблемы служит использование теплоотводов. Статья посвящена анализу и автоматизации методики расчета конструктивных параметров теплоотводов силовых полупроводников, созданию базы данных для поиска аналогов, соответствующих расчету и хранению результатов вычислений, а также для расчета и построения 3D-моделей и чертежей охладителя. Авторами в среде разработки Lazarus и СУБД MySQL было разработано кросс-платформенное программное обеспечение, полностью реализующее поставленные задачи.

Ключевые слова: теплоотвод, естественное охлаждение, силовой полупроводник, охладители, транзистор, расчет габаритных и физических параметров, программное обеспечение, 2D-чертеж, 3D-модель, база данных, UML-диаграмма.

THE COOLER DESIGN AUTOMATION FOR POWER SEMICONDUCTORS

I.N. Filonenko, G.A. Ulitsky, N.A. Shindyapkin

Since the temperature range of operation limits the obtaining of high power in semiconductors, the use of heat sinks serves as a solution to this problem. The article is devoted to the analysis of the methodology for calculating the design parameters of the heat sinks of power semiconductors, automating their calculation, creating a database to search for analogues that correspond to the calculation and storage of the results of calculations. It was also realized the construction of the drawing of the cooler, which contains three of its projections and the creation of a 3D-model, based on the calculated geometric parameters. As a result, software was developed that fully meets the objectives. The development of the application was carried out in the Lazarus development environment, which in turn is a free software product that allows you to create cross-platform applications. Database development was conducted in MySQL DBMS, which is also a free software product and allows you to work under all modern operating systems. As a result, the developed product is also cross-platform.

Keywords: heat sink, natural cooling, power semiconductor, heat sink, transistor, calculation of overall and physical parameters, 2D-drawing, 3D-model, database, UML-diagram.

Введение

В настоящее время полупроводниковые приборы получили широкое применение в разрабатываемой радиоэлектронной аппаратуре. Один из способов использования транзисторов – это их применение в качестве силовых ключей. Однако температурный диапазон работы затрудняет получение больших мощностей. Наиболее распространенный путь решения этой проблемы – использование теплоотводов (охладителей), расчет параметров которых не всегда является тривиальной задачей.

Кроме самого процесса расчета параметров (на основе эксперимента), реализована автоматизация процесса подбора аналогов из существующих охладителей, соответствующих ГОСТ 25293-82. Для этого была спроектирована и реализована база данных, содержащая информацию о существующих аналогах.

Разработанный программный продукт позволяет осуществить автоматический подбор аналога из имеющихся на сегодняшний день, в соответствии с критерием выбора. Основным критерий выбора – рассеиваемая мощность теплоотвода.

Был проведен анализ публикаций, в которых описан процесс проектирования технических устройств, содержащих охладители для полупроводниковых приборов. Из проведенного анализа можно сделать вывод о том, что рассматривались только частные случаи применения охладителей в конкретных полупроводниковых устройствах [1, 2].

Целью данной работы является повышение надежности работы силовых полупроводниковых технических средств автоматики. Для достижения цели поставлена задача автоматизации процесса проектирования охладителей для полупроводников средней мощности.

Расчетное моделирование охладителей силовых транзисторов

В рамках исследований была поставлена задача автоматизации процесса проектирования охладителей для полупроводников средней мощности, наиболее широко представленных в технической и справочной литературе [3, 4]. Это обстоятельство подтверждает целесообразность внедрения результатов исследований также в учебный процесс при выполнении студентами курсовых проектов и выпускных квалификационных работ. Для выполнения поставленной задачи необходимо:

- 1) изучить методы отвода тепла и способы охлаждения полупроводников;
- 2) изучить особенности графоаналитической методики расчета охладителей силовых транзисторов, построенной на экспериментальных данных;
- 3) разработать и апробировать математическую модель для компьютерного расчета охладителя;
- 4) согласовать математическую модель с синтаксисом языка программирования;
- 5) разработать программное обеспечение для расчета параметров охладителя и его проектирования (чертеж общего вида, разработка базы данных, содержащей стандартные конструкции, выбор стандартной конструкции из базы данных и др.);
- 6) оценить корректность расчета.

Существует несколько основных методов отвода тепла от транзисторов: естественное охлаждение, принудительное воздушное охлаждение, принудительное жидкостное и термоэлектрическое охлаждение. Данная статья посвящена расчету параметров охладителя при естественном охлаждении.

При расчете теплоотвода, конструктивно выполненного в виде пластины, оребренной с одной или двух сторон, необходимы следующие исходные данные: максимально допустимая температура коллекторного перехода транзистора $T_{\text{пр}}$, тепловое сопротивление между переходом и корпусом $R_{\text{пк}}$, тепловое контактное сопротивление между корпусом и теплоотводом $R_{\text{кт}}$, мощность, рассеиваемая транзистором P , и температура окружающей среды T_c .

Данные по максимально допустимой температуре коллекторного перехода и тепловому сопротивлению между переходом и корпусом берутся из справочника или технической документации на транзистор. Тепловое контактное сопротивление определяется экспериментальным путем.

Чтобы рассчитать рассеиваемую мощность охладителя, необходимо изначально определить его геометрические размеры: длину охладителя L_1 , высоту ребра L , протяженность ребра H , толщину ребра d , расстояние между ребрами b , высоту основания d_1 (рис. 1).

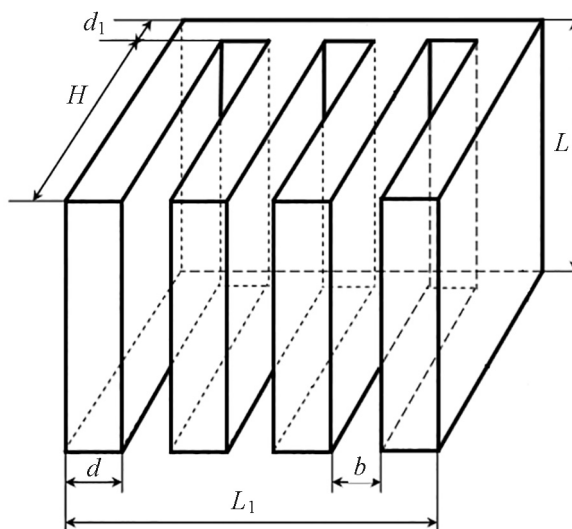


Рис. 1. Геометрические размеры охладителя

Эти и далее упоминаемые параметры будут выбираться согласно графоаналитической методике расчета, предложенной Аксеновым А.И., Глушковой Д.Н. и Ивановым В.И., Алексеевым В.Ф., Пискун Г.А., Богатко И.Н. в соответствии с экспериментальными данными [5, 6]. Эта методика прошла успешную проверку в КИ(ф)МПУ и на Коломенском заводе.

Определяя длину охладителя, необходимо воспользоваться графиком зависимости минимального теплового сопротивления теплоотво-

да от высоты ребра (рис. 2). Следует отметить, что зависимости будут справедливы в диапазоне температур, выше указанных, на 30 °С.

Поскольку в используемой методике имеются только максимальные и минимальные значения таких геометрических параметров теплоотвода, как количество ребер, их толщина и расстояние между ними, то для их нахождения был разработан следующий алгоритм: имеется несколько размеров толщины ребра; для каждого из них определяется количество ребер, которое можно разместить при наименьшем расстоянии между ними (минимальное расстояние составляет 10 мм). Наиболее подходящим вариантом является тот, у которого расстояние между ребрами наиболее приближено к минимальному.

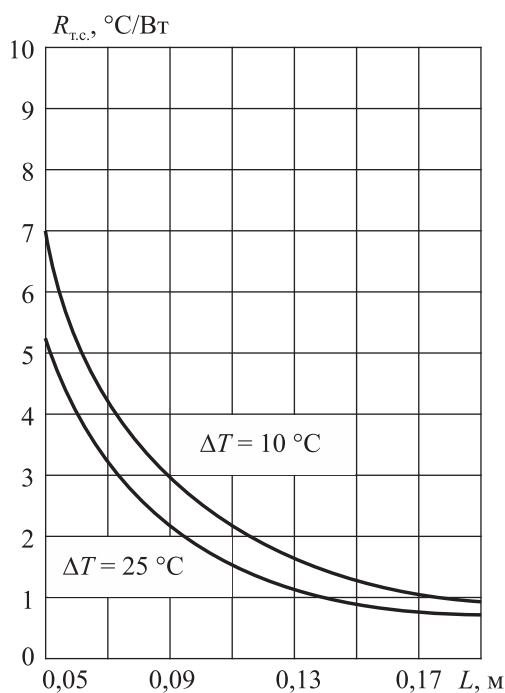


Рис. 2. Экспериментальный график зависимости минимального теплового сопротивления радиатора $R_{\text{т.с. min}}$ от высоты ребра L

Определив размеры и площадь радиатора S , необходимо перейти к расчетам остальных параметров, которые основываются на следующих способах теплопередачи:

1. Теплопроводность, которая осуществляется непосредственным теплообменом между смежными частями твердых тел, определяется законом Фурье:

$$P = 1,16 \frac{\lambda}{\delta} (T_1 - T_2) S_c, \quad (1)$$

где P – величина теплового потока, Вт; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м²·°С; δ – длина пути теплового потока, м; T_1 и T_2 – температура в двух сечениях, °С; S_c – площадь поперечного сечения, м².

2. Конвекция осуществляется в результате перемещения частиц жидкого и газообразного вещества. Количество тепла, которое может быть передано конвекцией, определяется законом Ньютона:

$$P = 1,16 \alpha_k S (T - T_c), \quad (2)$$

где P – величина теплового потока, Вт; α_k – коэффициент теплопередачи конвекцией (конвективный), Вт/м²·°С; S – площадь поверхности теплообмена, м²; T – температура поверхности, °С; T_c – температура окружающей среды, °С.

3. Излучение. Представляет собой теплообмен со средой посредством электромагнитного волнового излучения. Количество энергии, излучаемое нагретым телом, при этой форме теплопередачи определяется законом Стефана – Больцмана:

$$P_{1,2} = 1,16 \alpha_{\text{л}} S (T_1 - T_2), \quad (3)$$

где $\alpha_{\text{л}}$ – коэффициент теплопередачи излучением (лучистый) от одной поверхности к другой; φ – коэффициент облученности соседних тел; $\varepsilon_{\text{пр}}$ – приведенная степень черноты взаимодействующих поверхностей.

Далее обозначим параметры, которые необходимо рассчитать, основываясь на перечисленных выше законах: лучистый коэффициент теплоотдачи $\alpha_{\text{л}}$, коэффициент облученности φ , конвективный коэффициент теплоотдачи α_k , рассеиваемая мощность теплоотвода $P_{\text{общ}}$ и общее тепловое сопротивление $R_{\text{т.расч}}$:

$$\alpha_{\text{л}} = 5,67 \varepsilon_{\text{пр}} \varphi \frac{\left(\frac{T_1 + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2 + 273}{100}\right)^4}{T_1 - T_2}, \quad (4)$$

$$\varphi = \frac{b}{2H + b},$$

$$\alpha_k = A_1(T_m) \left(\frac{T_1 - T_2}{L} \right)^{\frac{1}{4}}, \quad [\text{Вт/м}^2 \cdot \text{°С}], \quad (5)$$

где $A_1(T_m)$ – параметр, учитывающий параметры окружающей среды (определяется по экспериментальным данным [1]); T_m – определяющая температура, °С:

$$T_m = 0,5(T_1 + T_2), \quad (6)$$

$$P_{\text{общ}} = P_{\text{пл}} + P_{\text{оребр}}, \quad (7)$$

где $P_{\text{гл}}$ – мощность, рассеиваемая гладкой поверхностью, Вт; $P_{\text{оребр}}$ – мощность, рассеиваемая оребренной поверхностью, Вт.

$$R_{\text{т.расч}} = \frac{R_{\text{т.гл}} R_{\text{т.ор}}}{R_{\text{т.гл}} + R_{\text{т.ор}}}, \quad (8)$$

где $R_{\text{т.гл}}$ – тепловое сопротивление гладкой поверхности, °C/Вт; $R_{\text{т.оребр}}$ – тепловое сопротивление оребренной поверхности, °C/Вт.

Наибольший интерес представляют рассеиваемая мощность теплоотвода, которая должна быть больше рассеиваемой мощности транзистора, и тепловое сопротивление, которое должно быть меньше теплового сопротивления, рассчитанного по исходным данным. Если эти условия соблюдаются, то расчеты параметров теплоотвода являются корректными. Проверка корректности расчетов параметров теплоотвода представлена ниже.

Параметры теплоотвода	$T_{\text{рп}}, ^\circ\text{C}$	$R_{\text{пк}}, ^\circ\text{C/Вт}$	$R_{\text{кт}}, ^\circ\text{C/Вт}$	$P, \text{Вт}$	$T_{\text{с}}, ^\circ\text{C/Вт}$	$R_{\text{т.с.исх.дан}}, ^\circ\text{C/Вт}$
Исходные данные	85	1	0,4	5	60	3,24

Геометрические параметры	$L_1, \text{мм}$	$L, \text{мм}$	$d, \text{мм}$	$b, \text{мм}$	$d_1, \text{мм}$	$H, \text{мм}$	$S, \text{мм}^2$
Данные расчетов	93	90	3	12	4	22	453714

Параметры теплоотвода	$P_{\text{общ}}, \text{Вт}$	$R_{\text{т.расч}}, ^\circ\text{C/Вт}$
Рассчитанные значения	5,52	2,9

Результаты проверочного расчета свидетельствуют, что мощность, рассеиваемая охладителем, превышает исходные значения на 9,5 %, а тепловое сопротивление меньше исходного на 10,5 %. Можно считать, что это расхождение не является критическим, поскольку при проектировании всегда закладывается определенный коэффициент запаса (10–30 %), который может быть скорректирован при автоматизированном расчете путем варьирования геометрических параметров. Из этого можно сделать вывод, что разработанная математическая модель работоспособна, корректна, и ее целесообразно использовать для создания программы продукта автоматизированного расчета параметров охладителя.

Кроссплатформенное приложение для расчета параметров и построения 3D-модели охладителей полупроводниковых устройств

В результате анализа эксперимента, проведенного для расчета охладителя (Аксенов А.И., Глушкова Д.Н. и Иванов В.И. [5]), была поставлена задача по его автоматизации. Кроме того, необходима автоматизация и процесса подбора аналогов из существующих охладителей, соответствующих ГОСТ 25293-82. Была разработана база данных, содержащая информацию о су-

ществующих аналогах и историю вычислений за определенный промежуток времени. Текущий выбор аналога также фиксируется в базе. Для реализации функционала было выбрано следующее программное обеспечение:

1. *MySQL* [7] – свободная реляционная система управления базами данных. Разработку и поддержку *MySQL* осуществляет корпорация *Oracle*. Написан продукт на языках программирования *C* и *C++*, протестирован на множестве различных компиляторов и работает на различных платформах.

2. *Lazarus* [8] – открытая среда разработки программного обеспечения на языке *Object Pascal* для компилятора *Free Pascal* (часто используется сокращение *FPC* – *Free Pascal Compiler*, бесплатно распространяемый компилятор языка программирования *Pascal*). Интегрированная среда разработки предоставляет возможность кроссплатформенной разработки приложений в *Delphi*-подобном окружении, позволяет достаточно несложно переносить *Delphi*-программы с графическим интерфейсом в различные операционные системы: *Linux*, *FreeBSD*, *Mac OS X*, *Microsoft Windows*, *Android*.

3. Система трехмерного моделирования КОМПАС-3D.

Исходя из поставленной задачи, был разработан кроссплатформенный программный

продукт, предназначенный для автоматизации процесса проектирования охладителей для силовых полупроводников (одностороннего и двустороннего охладителей). Программный продукт включает в себя следующие элементы:

1. Режим эксперимента – режим, в котором результаты проведенного эксперимента заносятся в файл, данные из которого можно использовать в последующих расчетах.

2. Режим расчета – в этом режиме производится расчет параметров необходимого охладителя. Исходные данные для расчета могут быть взяты из файла, созданного в режиме эксперимента, либо введены вручную в поля формы.

3. Режим построения чертежа – на основе полученных в режиме расчета параметров строится чертеж, содержащий три проекции охладителя.

4. Режим построения 3D модели – аналогично предыдущему режиму используются рассчитанные геометрические размеры охладителя для построения 3D модели.

5. Режим подбора существующих аналогов – в этом режиме производится подбор охладителей из существующих, близких по параметрам к рассчитанным (используется разработанная база данных).

Рассмотрим подробнее функционал выше представленных режимов, используя интерфейс программного продукта. В основном окне приложения (рис. 3) пользователю предоставлена возможность выбора режима.

«Режим эксперимента». Выбор режима реализует переход на соответствующую форму ввода данных (рис. 4), которые были описаны в «Часть I». $Pod = d_1$ – толщина основания охладителя.

Вводимые значения могут быть получены из технической документации или по результатам экспериментов.

«Ввести зависимость « $T_t - T_c$ » от « L_{min} »». Выбор режима осуществляет переход к форме «График длины теплоотвода» (рис. 5) для ввода

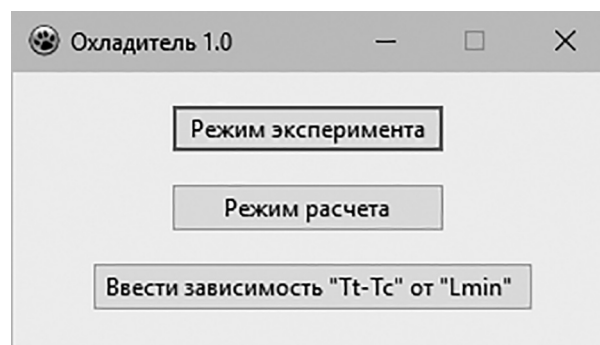


Рис. 3. Основное окно приложения

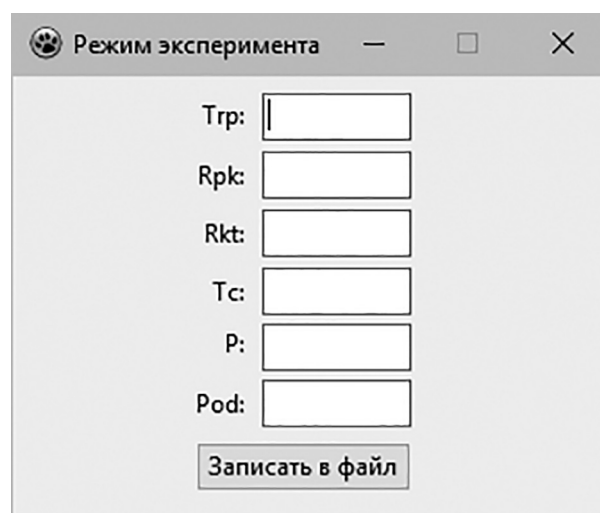


Рис. 4. Окно «Режим эксперимента»

зависимости минимального теплового сопротивления радиатора от его длины, с сохранением полученных в ходе эксперимента данных в файле. Программа предоставляет пользователю возможность динамического выбора имени файла.

После окончания работы в «Режиме эксперимента» закрываем форму и переходим к следующему этапу: «Режим расчета». Структурная блок-схема алгоритма работы «Режима расчета» изображена на рис. 6.

В этом режиме выполняется расчет параметров теплоотвода по методике, подробно изложенной выше. В ходе выполнения расчетов

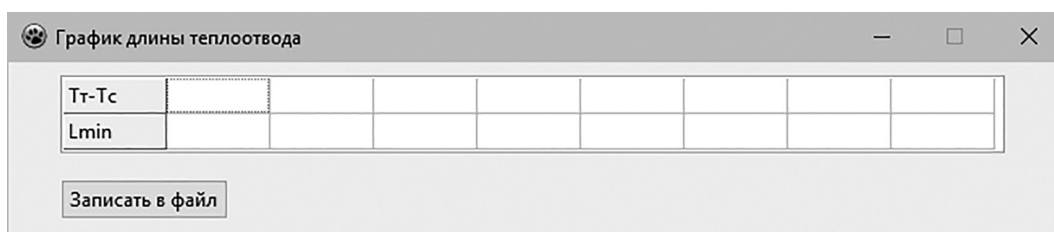


Рис. 5. Окно для ввода значений зависимости минимального теплового сопротивления охладителя от его длины

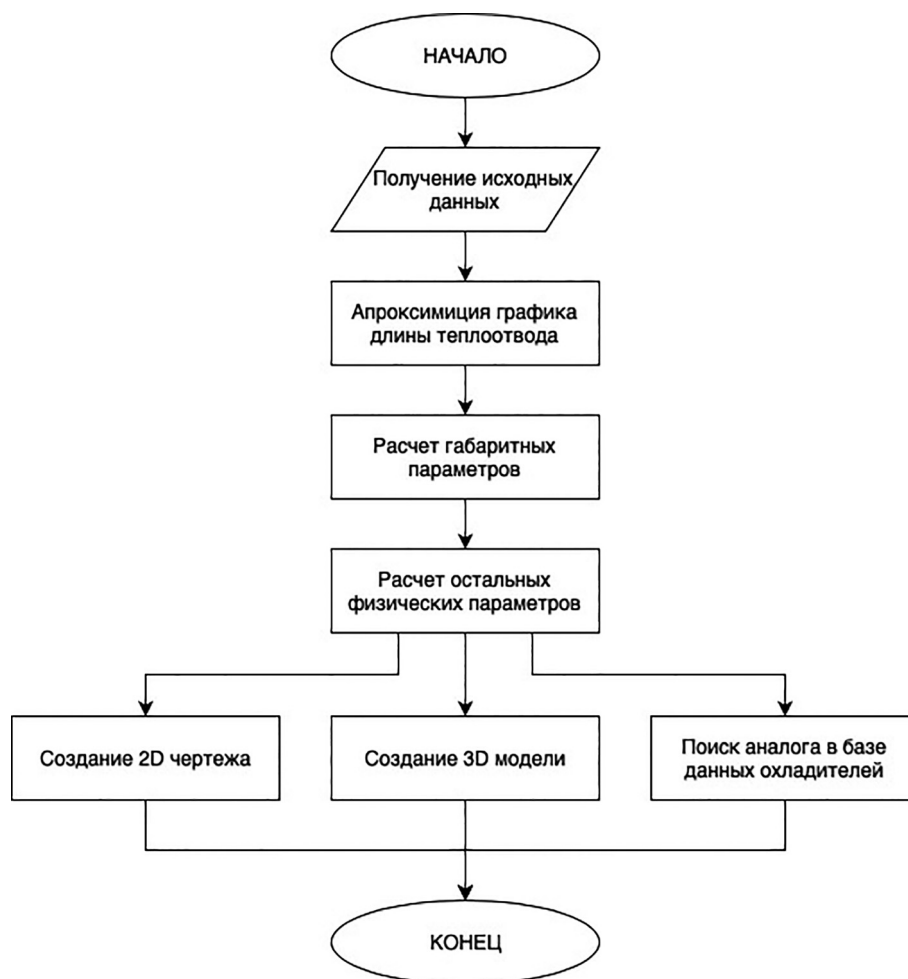


Рис. 6. Структурная блок-схема «Режима расчета»

производится аппроксимация графика длины охладителя с помощью квадратичной интерполяции. График может быть, как оставлен по умолчанию (организовано в программе), так и взят из ранее созданного в «Режиме эксперимента» файла.

По завершению расчетов программой можно перейти к созданию 2D-чертежа, построению 3D-модели охладителя, а также к поиску аналогов из имеющейся базы данных существующих охладителей. В программе пользователю предоставлен выбор функционала с помощью кнопок управления (пример продемонстрирован на рис. 7). Исходя из расчетов возможно построение охладителя как в 2D [9] в виде чертежа, так и его 3D-модели [10]. Причем построение, как и расчет, может производиться для охладителей, соответствующих ГОСТу 25293-82, конструктивно выполненных в виде пластины, оребренной с одной или двух сторон, с учетом особенностей каждого из них. Тип охладителя необходимо выбирать с помощью панели «Тип теплоотвода» перед началом расчета.

Продemonстрируем работу программы для двустороннего охладителя. На рис. 7 показан расчет параметров для теплоотвода, выполненного в виде пластины, оребренной с двух сторон теплоотвода. В первом столбце указаны исходные данные, а во втором и третьем – результаты расчетов.

Режим расчета

Настройки		Тип теплоотвода	История
Исходные данные		Расчетные параметры охладителя	
Trp: 85	Ld: 89,077	Pmax: 5,973	
Rpk: 1	Ls: 89,077	Rts: 3,24	
Rkt: 0,4	H: 22	S: 627,963	
Tc: 60	n: 7	Rtcrsch: 2,712	
P: 5	fi: 2,5	% запаса: 19,456	
Pod: 4	b: 11,929		

Загрузить данные из файла

Рассчитать параметры охладителя

Построить 2D Построить 3D

Поиск аналога

Рис. 7. Расчет параметров двустороннего охладителя

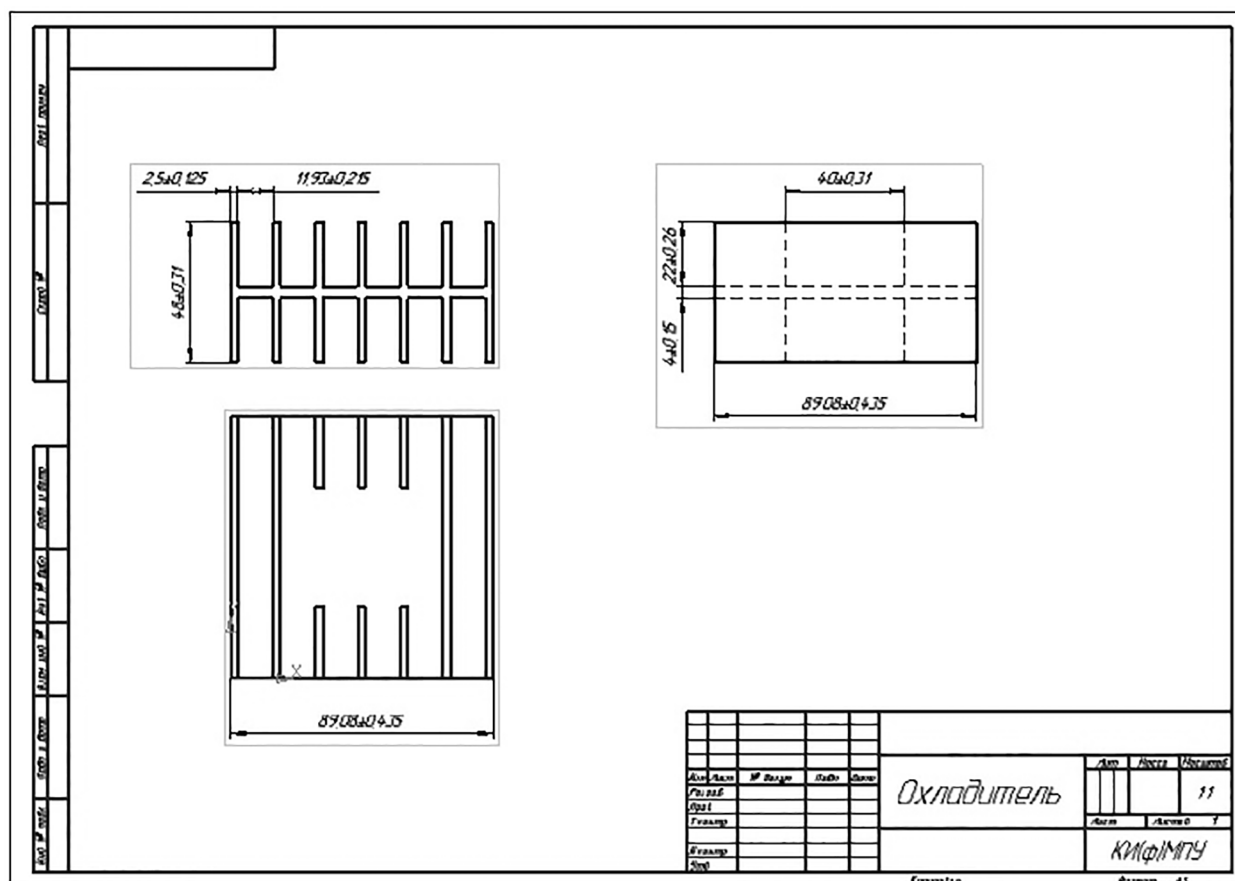


Рис. 8. 2D-чертеж охладителя

Построение 2D-чертежа продемонстрировано на рис. 8. Изображение 3D-модели представлено на рис. 9.

Подобный функционал, описанный выше для двустороннего охладителя, также реализован и для одностороннего теплоотвода.

Для реализации работы в «Режиме поиска аналога» была разработана база данных, которая состоит из пяти взаимосвязанных таблиц: «Охладители», «Изображение охладителя», «История», «Настройки» и промежуточная таблица «Связь» для реализации связи М:М (мно-

гие-ко-многим) между таблицами «Охладители» и «История».

Основной таблицей в БД является таблица «Охладители», которая содержит в себе основные параметры существующих охладителей, соответствующих ГОСТу 25293-82. Из данной таблицы берутся все необходимые для расчета и сравнения параметры существующих охладителей. Программа будет сравнивать с ними параметры охладителя, полученные в ходе расчета.

Таблица «Изображение охладителя» хранит в себе изображения существующих теплоотводов. Чтобы получить изображение, необходимо дважды нажать на строку охладителя.

В таблицах «История» и «Настройки» находятся данные, которые были рассчитаны и загружены в БД в процессе работы программы. В таблицу «История» также заносятся исходные данные из «Режима расчета». Для просмотра «Истории» необходимо выбрать соответствующую панель в «Режиме расчета».

В результате проектирования БД, в процессе нормализации, база данных приведена к третьей усиленной нормальной форме Бойса – Кодда [11]. Структура базы представлена в виде UML-диаграммы классов [12] (рис. 10).

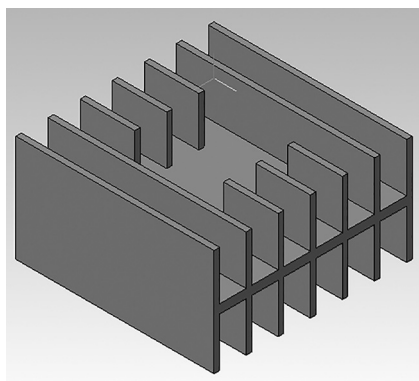


Рис. 9. 3D-модель охладителя

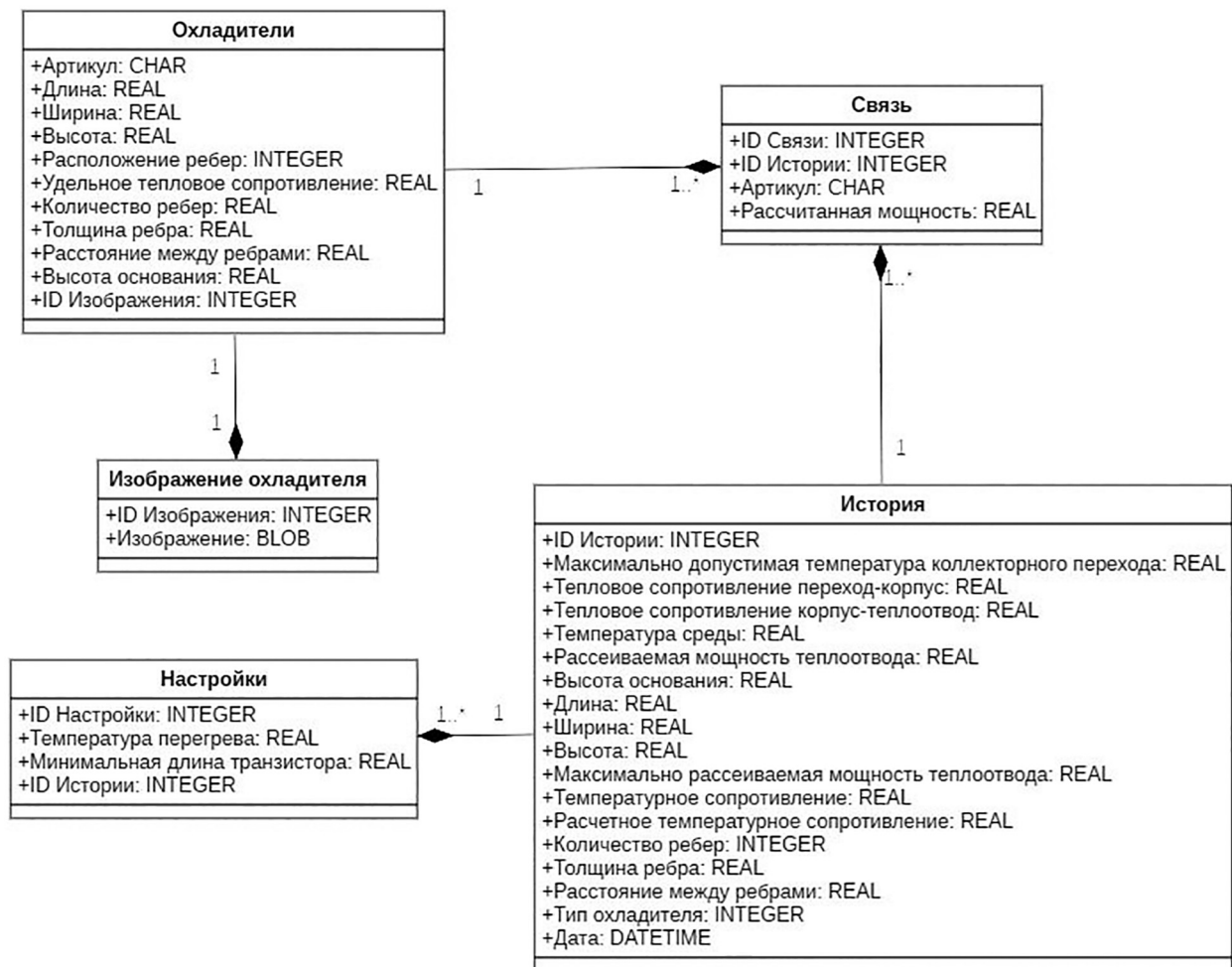


Рис. 10. UML-диаграмма классов

База данных имеет возможность динамического расширения при помощи специально разработанного приложения, интерфейс работы которого продемонстрирован на рис. 11.

Таблица «Охладители» заполняется параметрами существующих охладителей автоматически, используя данные, набранные пользователем в соответствующих полях формы.

ID_Coolers	Article	Length	Width	Height	Edge_placement	Thermal_resistivity	Number_of_ribs	Rib_thickness	Edge_spacing	Substrate_thickness
6	HS 036-100	100	85	25	1	3,01	10	2	4	4
7	HS 183-100	100	50	17	1	6,8	9	1,4	4,6	4
8	HS 183-150	150	50	17	1	6,8	9	1,4	4,6	4
9	HS 183-30	30	50	17	1	6,8	9	1,4	4,6	4
10	HS 183-50	50	50	17	1	6,8	9	1,4	4,6	4
11	HS 183-70	70	50	17	1	6,8	9	1,4	4,6	4
12	HS 172-100	100	150	13	1	3,1	28	1,5	4	3
13	HS 172-150	150	150	13	1	3,1	28	1,5	4	3
14	HS 172-30	30	150	13	1	3,1	28	1,5	4	3
15	HS 172-300	300	150	13	1	3,1	28	1,5	4	3
16	HS 172-50	50	150	13	1	3,1	28	1,5	4	3
17	HS 184-100	100	41	30	1	5,1	6	2	5,8	7,5

Подключиться

Артикул: Удельное тепловое сопротивление: Выберите строку, которую нужно изменить:

Длина: Количество ребер: Изменить

Ширина: Толщина ребра:

Высота: Расстояние между ребрами: Выберите строку, которую нужно удалить:

Расположение ребер: Толщина подложки: Удалить

Добавить

Рис. 11. Окно программы по редактированию и добавлению новых существующих охладителей

На форме отображается список всех охладителей, находящихся в БД. Можно расширить их спектр, добавив данные о новых охладителях вручную. Если возникла необходимость изменить или же удалить информацию о существующих охладителях, то можно воспользоваться соответствующим функционалом, реализованным в программе.

Рассмотрим подробнее «Режим поиска аналога», структурная блок-схема которого представлена на рис. 12. Непосредственно после открытия формы «База данных существующих охладителей» происходит подключение базы данных [11], затем из нее берутся только охладители выбранного типа. На следующем этапе производится расчет рассеиваемой мощности охладителей, определенных на предыдущем шаге, геометрические параметры которых находятся в базе данных. Приоритетным параметром для сравнения при выборе из имеющихся аналогов является рассеиваемая мощность. Далее производится сравнение рассчитанных мощностей с мощностью, которая получена ранее в «Режиме расчета». Охладители, чья мощность оказалась меньше полученной в ходе расчетов, не участвуют в дальнейшем сравнении. Аналоги, удовлетворяющие критериям поиска, выводятся в отдельный список на экран.

В результате выбора аналогов, отсортированных по возрастанию мощности, формируется окно с существующими охладителями (рис. 13). В верхней строке содержатся данные охладителя, значение мощности которого наиболее приближено к полученному значению в «Режиме расчета».



Рис. 12. Блок-схема режима «Выбор аналога»

База данных существующих охладителей									
Артикул	Длина	Ширина	Высота	Количество ребер	Расстояние между ребрами	Толщина ребер	Толщина подложки	Рассеиваемая мощность	Тепловое сопротивление
HS 172-100	100	150	13	28	1,5	4	3	6,930	3,1
HS 172-150	150	150	13	28	1,5	4	3	9,522	3,1
HS 172-300	300	150	13	28	1,5	4	3	16,816	3,1

Рис. 13. Результат выбора существующих аналогов

Заключение

Разработанный кроссплатформенный программный продукт соответствует поставленной задаче, а именно, в полной мере автоматизи-

рует расчет физических и габаритных параметров теплопроводов, производит построение его 2D-чертежа и 3D-модели, а также выполняет подбор существующих охладителей, список

которых находится в БД и может расширяться по мере развития научно-технического прогресса. Из соответствующей БД производится выбор охладителей, которые удовлетворяют условиям поиска.

Представленная в статье автоматизация процесса проектирования теплоотводов может использоваться для повышения надежности работы силовых полупроводников технических средств автоматики.

Список литературы

1. Панфилов С.А. Эффективное охлаждение новых высокомоощных силовых полупроводниковых приборов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2012. № 4 (24). С. 57–66.
2. Саванин А.С. Математическое моделирование, расчет и оценка параметров эффективных охладителей мощных силовых полупроводниковых приборов. Саранск, 2009. – 175 с.
3. Полупроводниковые приборы. Транзисторы средней и большой мощности: справ., 2-е изд., стереотип. / А.А. Зайцев, А.И. Миркин, В.В. Мокряков и др.: под ред. А.В. Голомедова. М.: Радио и связь, КУБК-а, 1994. – 640 с.
4. Полупроводниковые приборы: диоды, тиристоры. Справочник / В.И. Галкин, А.Л. Булычев, П.М. Лямин. Минск: Беларусь, 1994. – 347 с.
5. Аксенов А.И., Глушкова Д.Н., Иванов В.И. Отвод тепла в полупроводниковых приборах: Энергия, 1971. – 175 с.
6. Алексеев В.Ф., Пискун Г.А., Богатко И.Н. Физические основы проектирования радиоэлектронных средств. Минск: БГУИР, 2017. – 74 с.
7. Васвани В. MySQL. Использование и администрирование. СПб: Питер, 2011. – 368 с.
8. Гуриков С.Р. Программирование в среде Lazarus: учеб. пособ. М.: Форум, ИНФРА-М, 2019. – 336 с.
9. Троицкий Д.И. Разработка 2D-библиотек для КОМПАС: изд-е 2. Тула: ТулГУ, 2007. – 27 с.
10. Норсеев С.А. Разработка приложений под КОМПАС в Delphi: практич. пособ, 2013. – 346 с.
11. Бондаренко С.П., Исаченко А.Н. Модели данных и СУБД: учеб. пособ. Минск: Белорусский государственный университет, 2007. – 205 с.
12. Белов В.В., Чистякова В.И. Проектирование информационных систем. М.: Академия, 2013. – 353 с.

ФИЛОНЕНКО Ирина Николаевна

E-mail: filonenkoin@mail.ru
Тел.: (916) 379-81-33

Старший преподаватель кафедры «Автоматизация производства и информационных технологий», Коломенский институт (филиал) Московского Политехнического университета, г. Коломна, Московская область, Россия. Сфера научных интересов: автоматизация процессов проектирования. Автор 25 публикаций.

УЛИЦКИЙ Глеб Александрович

E-mail: gleb.ulitsky@yandex.ru
Тел.: (915) 360-23-12

Студент 3-го курса группы УТС-31 кафедры «Автоматизации производства и информационных технологий», Коломенский институт (филиал) Московского Политехнического университета, г. Коломна, Московская область, Россия. Сфера научных интересов: автоматизация процессов проектирования. Автор одной публикации.

ШИНДЯПКИН Никита Александрович

E-mail: hold.face@yandex.ru
Тел.: (996) 978-29-20

Студент 3-го курса группы УТС-31 кафедры «Автоматизации производства и информационных технологий», Коломенский институт (филиал) Московского Политехнического университета, г. Коломна, Московская область, Россия. Сфера научных интересов: автоматизация процессов проектирования.