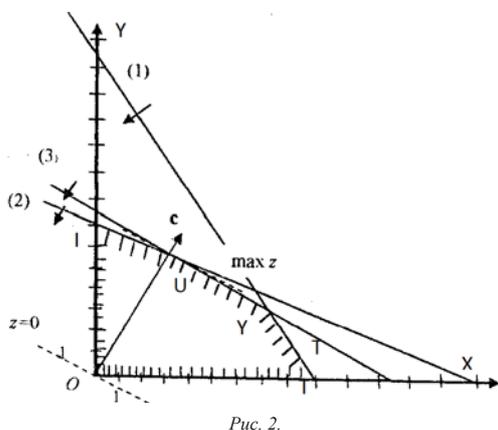


Вектор  $C$  показывает направление наивысшего возрастания уравнения. Перпендикулярно к вектору  $C$  нужно провести линию уровня  $Z = 0$ . Параллельно перенесем прямую  $Z = 0$  и найдем крайнюю точку, где  $Z = 4X + 7Y$  достигает максимума (рис. 2).



Из-за то, что точка  $U$  находится на пересечении прямых 2 и 3, координаты  $U$  определяются системой

$$\begin{cases} 2x + 4y = 28 \\ 2x + 3y = 23 \end{cases}$$

где  $U(4, 5)$ ,  $Z_{\max} = Z(U) = 4 \times 4 + 7 \times 5 = 51$ . Этот способ решения задачи называется графическим.

Ответ: необходимо выпускать 4 монитора и 5 мышек, тогда прибыль составит 51 денежных единиц.

Выполнив данную задачу мы можем прийти к выводу, что графический метод прост в использовании, но он не подходит для вычисления больших величин. Графический метод применяется для решения задач, которые имеют две переменные, в отдельных случаях три переменные, но тогда решением задачи будет являться полупространство, находящаяся по одну сторону плоскости. Роль областей будут играть многогранники, являющиеся пересечением полупространств.

#### Список литературы

1. Долгополова А. Особенности применения методов математического моделирования в экономических исследованиях / А.Ф. Долгополова, Т.А. Гулай, Д.Б. Литвин // Кант: экономика и управление. – 2013. – №1. – С. 62-66.
2. Долгополова А.Ф. Перспективы применения математических методов в экономических исследованиях / А.Ф. Долгополова, Т.А. Гулай, Д.Б. Литвин // Аграрная наука, творчество, рост: сб. науч. тр. – Ставрополь: СтГАУ, 2013. – С. 255-257.
3. Гулай Т.А. Совершенствование профессиональной подготовки экономистов через направленность содержания математического образования / Т.А. Гулай, А.Ф. Долгополова, Д.Б. Литвин // Аграрная наука, творчество, рост: сб. науч. тр. – Ставрополь: СтГАУ, 2013. – С. 252-254.

4. Гулай Т.А. Использование математических методов для анализа динамических свойств управляемого объекта / Т.А. Гулай, А.Ф. Долгополова, Д.Б. Литвин // Моделирование производственных процессов и развитие информационных систем: сб. науч. тр. – Ставрополь: СтГАУ, 2012. – С. 167-170.

5. Гулай Т.А. Личностно-ориентированное обучение математики студентов экономических направлений как средство повышения качества обучения / Т.А. Гулай, А.Ф. Долгополова, Д.Б. Литвин // Теоретические и прикладные проблемы современной педагогики: сб. науч. тр. – Ставрополь: СтГАУ, 2013. – С. 28-33.

6. Гулай Т.А. Руководство к решению задач по математическому анализу. Часть 1 / А.Ф. Долгополова, Т.А. Колодяжная // Международный журнал экспериментального образования. – 2011. – №12. – С. 62-63.

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ПРОЦЕССОРОВ ПЕРСОНАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ

Яновский А.А., Каныгин Я.В.

Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, e-mail: dolgopolova.a@mail.ru

У всех элементов, применяемых в радиоэлектронике, у полупроводниковых приборов, а особенно у процессоров персональных компьютеров, есть максимальная температура, при которой все они остаются работоспособными. Причём это температура, при которой технические характеристики сохраняются в течение всего заданного срока эксплуатации. Но существует и предельная температура, которая выше максимальной рабочей, но при превышении данной температуры срок службы процессора и его производительность существенно снижается, кроме того не гарантируются его характеристики и работоспособность. Таким образом, отвод тепла от процессоров в настоящее время и в обозримом будущем будет являться крайне актуальным вопросом.

На сегодняшний день существуют различные виды систем охлаждения процессоров персональных компьютеров. Рассмотрим математические и технические аспекты, а также принцип работы систем охлаждения процессоров персональных компьютеров различного типа.

Физический процесс охлаждения процессоров основан, как и охлаждение любого другого элемента электроники, основан на передаче тепла от более нагретого тела (процессора) к менее нагретому (системе охлаждения). Для охлаждения необходимо организовать подведение некоторого рабочего вещества, которое называют хладагентом теплоносителем. Существует несколько видов теплопереноса. Первый это теплопроводность, способность вещества проводить тепло внутри своего объёма; в этом случае нужно только создать физический контакт некоторого объёма вещества с охлаждаемым объектом. Второй механизм: конвективный теплообмен с хладагентом, связан с физическим переносом охлаждающего вещества.

Различают следующие основные виды систем охлаждения процессоров ПК:

- Пассивное охлаждение,
- Системы воздушного охлаждения,
- Системы жидкостного охлаждения.

При пассивное охлаждение отвод тепла от процессора осуществляется излучением тепла и естественной конвекцией. Пассивным охлаждением могли довольствоваться отдельные компоненты компьютера (в том числе процессоры 1980-х начала 1990-х годов), при условии, что их радиаторы помещены в достаточный поток воздуха, создаваемый рядом расположенными вентиляторами других устройств. Плюсом данного вида охлаждения является отсутствие шума. Минус – из-за низкой теплопроводности воз-

духа, сложно организовать эффективное пассивное охлаждение в воздушном пространстве, особенно для энергонагруженных элементов, какими являются современные процессоры.

*Системы воздушного охлаждения.* Принцип работы заключается в непосредственной передаче тепла от нагревающегося компонента на радиатор за счёт теплопроводности материала или с помощью тепловых трубок. Радиатор излучает тепло в окружающее пространство системного блока ПК тепловым излучением и передаёт тепло теплопроводностью окружающему воздуху. Это происходит в основном за счёт вентиляторов, установленных на радиатор, а также за счёт теплопроводности окружающей среды (воздуха, находящегося в блоке). Такой тип охлаждения систем процессоров ПК является наиболее распространённым в настоящее время. Безусловным преимуществом такой системы охлаждения является универсальность и невысокая стоимость. Однако есть и минусы – высокоэффективные и тихие системы такого типа охлаждения весьма дороги, а дешёвые отличаются высоким уровнем шума. Кроме того, они не могут являться оптимальными для производительных процессоров последних поколений: AMD FX и Intel Core i7.

*Системы жидкостного охлаждения.* Циркулирующая жидкость обеспечивает гораздо лучшее теплоотведение, чем поток воздуха. Холодная жидкость прокачивается через радиаторы охлаждаемых устройств, в которых она нагревается (отводит тепло). После этого нагретая жидкость поступает в теплообменник, в котором обменивается теплом с окружающим пространством и охлаждается (под действием вентиляторов). Для того чтобы заставить жидкость циркулировать по замкнутому корпусу, применяется специальный насос – помпа. Плюсы данной системы – бесшумность работы, высокая эффективность охлаждения, увеличение производительности процессоров. Однако такие системы отличаются сложностью установки.

В инженерной практике, а также при разработке ПК, широкое распространение получила приближённая математическая модель конвективного теплопереноса [1-2], основанная на линейном уравнении теплообмена Ньютона и концепции коэффициента теплоотдачи (КТО). Уравнение Ньютона постулирует, что тепловой поток  $Q$ , передаваемый от нагретой поверхности тела площадью  $S$  в жидкостную среду, пропорционален первой степени разности температуры поверхности тела  $T_w$  и среды  $T_a$ , а именно

$$Q = \alpha S (T_w - T_a). \quad (1)$$

Коэффициент пропорциональности  $\alpha$  называется коэффициентом теплоотдачи, включающим в себя, согласно концепции КТО, всю сложность процесса конвективного теплопереноса, который пока не поддается математическому моделированию. Адекватность КТО в большинстве случаев невозможно достоверно оценить, а результаты моделирования, получаемые на ее основе, могут довольно существенно отличаться от данных эксперимента, достигая десятков процентов. Альтернативой концепции КТО является подход, при котором проблема теплообмена рассматривается в сопряженной постановке.

Основной средой в электронных устройствах является воздух, который может, как подаваться (нагнетаться) от внешних устройств, приводя к вынужденной конвекции, так и находиться в свободном состоянии естественной конвекции. Рассмотрим уравнения математической модели конвективного теплообмена воздушной среды.

Рассмотрим свободную естественную конвекцию в замкнутом объеме некоторого электронного устройства. Воздушную среду будем считать несжимаемой, то есть давление в воздухе предполагается мало изменяющимся, так что изменением плотности воздушной среды под влиянием изменения давления можно пренебречь. Наибольший же интерес для практики представляют установившиеся процессы теплообмена, поэтому уравнения математической модели считаются стационарными и не зависящими от времени.

Уравнение Навье–Стокса в воздушной среде:

$$v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} = \nu \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \beta g(T - T_0). \quad (2)$$

Уравнение переноса энергии в воздушной среде:

$$v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}. \quad (3)$$

Уравнение непрерывности воздушной среды:

$$v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

Уравнение теплопроводности пластины:

$$\lambda_w \frac{\partial^2 T_w}{\partial x^2} + \lambda_w \frac{\partial^2 T_w}{\partial y^2} + Q(x, y) = 0. \quad (5)$$

Граничные условия для скоростей воздуха:

$$v_x = v_y = 0 \text{ при } y = 0; \quad v_x = 0, \quad T = T_0 \quad (6)$$

для значений  $y$  вне пограничного слоя.

Граничные условия 4-го рода:

$$-\left( \lambda_w \frac{\partial T_w}{\partial x} \right)_{y=0} = \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right)_{y=0}.$$

Здесь  $v_x$  и  $v_y$  – скорость воздуха вдоль осей  $x$  и  $y$  соответственно;  $T = T(x, y)$  и  $T_w = T_w(x, y)$  – распределение температуры в воздушной среде и пластине соответственно;  $Q(x, y)$  – объемная плотность распределения интенсивностей источников теплоты в пластине;  $T_0$  – температура воздуха за пределами пограничного слоя.

Отметим, что граничные условия на противоположной поверхности пластины определяются конкретными условиями теплообмена для данной конструкции электронного устройства. Так, если с обратной стороны пластины происходит конвективный теплообмен, к математической модели (2)–(7) необходимо добавить аналогичные уравнения и граничные условия.

Если рассматривается вынужденная конвекция, возникающая в электронном устройстве при нагнетании воздуха со скоростью  $v_c$  от внешних устройств, то в случае ламинарного режима течения математические модели вынужденной и свободной конвекции совпадают, за исключением того, что конвективный член  $\beta g(T - T_0)$  в соответствующих уравнениях будет отсутствовать, а в граничном условии (6) для значений координаты  $y$ , лежащих вне пограничного слоя, вместо  $v_x = 0$  должно быть задано условие  $v_x = v_c$ . Когда при нагнетании воздушной среды скорость воздуха достигает величины, при которой критерий Рейнольдса  $Re = v_c L / \nu$  становится больше своего критического значения  $Re_{кр}$ , возникает турбулентный режим движения воздуха.

Протекание конвективных процессов теплообмена определяется влиянием множества факторов, таких как геометрические размеры конкретного электронного устройства, его конструктивные особенности, герметичность устройства, наличие вентиляци-

онных отверстий, пространственное расположение элементов внутри устройства, характер ограниченности пространства и пр.

Особый интерес в области компьютерной электроники может представлять проблема проектирование и создание систем охлаждения процессоров персональных компьютеров, на основе намагничивающихся нанодисперсных жидкостей, решением которой мы занимаемся в рамках Гранта Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере. Преимуществом таких систем охлаждения являются высокие показатели мощности отводимого тепла (TDP), которые позволяют добиться максимальной производительности процессора. Кроме того, традиционные системы воздушного охлаждения характеризуются высоким уровнем шума, приближающимся к верхней границе нормы безопасности, жидкостное охлаждение на основе магнитных жидкостей позволит сделать системы охлаждения компьютеров практически бесшумными.

В современном мире, где постоянно растут тактовые частоты, вычислительные мощности, стало реальным использовать многоядерную архитектуру, что сделало возможным поднять производительность ПК на новый уровень. Но обратная сторона медали заключается в том, что при увеличении тактовых частот соответствующим образом увеличивается тепловыделение электронных компонентов. Собственно это и есть проблема охлаждения компьютера, решение которой придёт к эволюции в области электроники.

Качественно новое инженерное решение в области охлаждения процессоров персональных компьютеров может быть предложено на основе механизма термомагнитной конвекции, реализуемое в жидких намагничивающихся нанодисперсных средах (магнитных жидкостях) [3-11].

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

#### Список литературы

1. Лыков А.В. Тепломассообмен. – Изд. 2-е. – М.: Энергия, 1978.
2. Мадера А.Г. Моделирование теплообмена в технических системах. – М.: МФ ПИЛ, 2005.
3. Yanovskii A.A., Simonovskii A.Ya., Klimenko E.M. On the Influence of the Magnetic Field upon Hydrogasdynamic Processes in a Boiling Magnetic Fluid // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. – 2014. – Vol. 50, № 3. – P. 260–266.
4. Яновский А.А., Симоновский А.Я., Клименко Е.М. К вопросу о влиянии магнитного поля на гидрогазодинамические процессы в кипящей магнитной жидкости // Электронная обработка материалов. – 2014. – № 3. – С. 66-72.
5. Яновский А.А., Спасибов А.С. Математическое моделирование процессов в кипящих намагничивающихся средах // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5-2. – С. 183-186.
6. Яновский А.А., Симоновский А.Я., Савченко П.И. Моделирование гидрогазодинамических процессов в кипящей магнитной жидкости // Информационные системы и технологии как фактор развития экономики региона. – Ставрополь, 2013. – С. 159-163.
7. Игropуло В.С., Яновский А.А. Математическое моделирование некоторых ориентационных процессов на наноповерхностях // Обозрение прикладной и промышленной математики. – 2008. – Т. 15, № 3. – С. 484-485.
8. Литвин Д.Б., Яновский А.А., Донец З.Г. Интерполяция и аппроксимация данных в matlab // Информационные системы и технологии как фактор развития экономики региона. – 2013. – С. 97-99.
9. Яновский А.А., Симоновский А.Я., Холопов В.Л. Влияние магнитного поля на процессы парообразования в кипящей магнитной жидкости // Фундаментальные исследования. – 2013. – №8(2). – С. 332-337.
10. Яновский А.А. Тепло- и массоперенос при кипении магнитной жидкости на неограниченной поверхности с точечным подводом тепла // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2011. – №4(3). – С. 1289-1290.
11. Симоновский А.Я., Яновский А.А. Влияние однородного магнитного поля на теплообмен при кипении магнитной жидкости на неограниченной поверхности // Наука. Инновации. Технологии. – 2011. – №6-1. – С. 272-278.

#### ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ПРОЦЕССОРОВ ПК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ В КАЧЕСТВЕ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Яновский А.А., Симоновский А.Я., Хаустов П.А.

Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, e-mail: dolgopolova.a@mail.ru

Системы охлаждения являются неотъемлемой частью как техники ставшей привычным атрибутом современной жизни: автомобили, компьютеры, котлы отопления и т.д., так и различного рода промышленных устройств – теплообменных аппаратов, а также трансформаторов, ядерных реакторов. С ростом интенсивности тепловыделения устройствами, проблема интенсификация процесса отвода тепла от различных поверхностей становится крайне актуальной [1]. Наиболее эффективным видом охлаждения является жидкостное охлаждение – отвод излишнего тепла от поверхности тела посредством контакта с циркулирующей охлаждающей жидкостью.

Проведенные нами исследования в области теплообмена нанодисперсных намагничивающихся жидкостей (магнитных жидкостей) позволяют сделать вывод о том, что созданные с использованием их в качестве охлаждающей жидкости теплообменные аппараты позволяют [3-10]:

- оперативно управлять интенсивностью отвода тепла посредством магнитного поля;
- повысить удельную мощность отводимого от нагретых поверхностей тепла;
- уменьшить массогабаритные параметры теплообменных установок.

С каждым годом производительность компьютеров существенно возрастает, растет и тепловыделение. Так с 80 года прошлого века по настоящее время энергопотребление и выделение тепла процессоров возросло в 50 раз и приблизилось к 200 Вт, а вес систем охлаждения увеличился до килограмма, а иногда и более, и ассоциируются скорее со сварочным аппаратом, нежели со сложным вычислительным прибором. Увеличивается и частота вращения вентиляторов, шум от которых достигает порога небезопасных для человека значений. Все это влечет за собой необходимость совершенствования систем охлаждения процессоров.

Особый интерес в области компьютерной электроники может представлять проблема проектирование и создание систем охлаждения процессоров персональных компьютеров, на основе намагничивающихся нанодисперсных жидкостей, решением которой мы занимаемся в рамках Гранта Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере. Преимуществом таких систем охлаждения являются высокие показатели мощности отводимого тепла (TDP), которые позволяют добиться максимальной производительности процессора. Кроме того, традиционные системы воздушного охлаждения характеризуются высоким уровнем шума, приближающимся к верхней границе нормы безопасности, жидкостное охлаждение на основе магнитных жидкостей позволит сделать системы охлаждения компьютеров практически бесшумными.

Рассмотрим основные типы систем охлаждения процессоров, существующие на данный момент [2].

Воздушные системы охлаждения представлены радиаторами и кулерами. Сам по себе радиатор не снижает температуру чипа, а лишь увеличивает площадь поверхности, которая соприкасается с воздухом. Тепло от охлаждаемого объекта идет к основанию радиатора, потом распределяется по всей площади и