

При благоприятных фазовых соотношениях прямой и отраженной волн на вершине горы они могут складываться, увеличивая напряженность результирующего поля. Вершина горы является, таким образом, переизлучателем электромагнитной энергии. В дальнейшем, от вершины до приемной антенны волны опять могут распространяться по двум путям, и в точке приема вновь возможно сложение прямой и отраженной волн.

Выводы

Ультракороткие волны распространяются главным образом в пределах прямой видимости, а также в результате атмосферной рефракции в пределах радиовидимости, к которым для расчета напряженности поля могут быть применены дифракционные формулы.

Также УКВ могут распространяться на расстояния 200-300 км за счет рассеяния на неоднородностях тропосферы. Но при этом возникают «замирания» сигнала в результате многолучевого распространения.

Еще одним механизмом дальнего распространения УКВ является усиление препятствием при полной экранировке приемной антенны. Усиление волны препятствием может быть использовано в Кыргызской Республике.

Список литературы

1. Введенский Б. А., Колосов М. А., Калинин А. И. и др. «Дальнее тропосферное распространение ультракоротких радиоволн», М.: Советское радио, 1965 г., 417 с.
2. Бушуй Л. А. «Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн: методические указания по изучению теоретического курса раздела «Распространение радиоволн». Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003 г., 41 с.
3. Долуханов М. П. «Распространение радиоволн» М.: «Связь», 1972, 336 с.
4. Родос Л. Я. «Электродинамика и распространение радиоволн». СПб.: Из-во СЗТУ, 2007 г., 90 с.

References

1. Vvedenskiy B. A., Kolosov M.A., Kalinin A. I «Dalnee troposfernoe rasprostranenie ultrakortkih voln» Moscow, Sovetskoe radio, 1965, 417 p.
2. Bushui L. A. «Antenno-fidernye ustroistva i rasprostranenie raiovoln» Orenburg: GOU-OGU, 2003, 41 p.
3. Doluhanov M. P. Rasprostranenie radiovoln. Moscow.: «Svyaz», 1972, 336 p.
4. Rodos L. Ya. «Electrodynamika i rasprostranenie raiovoln (rasprostranenie raiovoln)» SPB, SZTU, 2007, 90 p.

УДК 539.10

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНВЕКТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ В ВОЗДУХЕ ВБЛИЗИ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ, ВЫДЕЛЯЮЩИХ ТЕПЛО

Акжолов М.Ж., Межведомственный суперкомпьютерный центр Российской академии наук (МЦС РАН), с.н.с., Москва, www.jssc.ru, ak-1@mail.ru

Лебо И.Г., Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики (МИРЭА), профессор, Москва, mirea.ru, lebo@mail.ru

Мадера А.Г. Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук (НИИСИ РАН), зав. отделом, Москва, niisi.ru, alexmadera@mail.ru

Дано описание физико-математической модели и двумерной программы «ENS_T» (Equation of Navies-Stocks with thermo conductivity) для численного решения уравнений Навье-Стокса с учетом теплопроводности. Представлены результаты численных расчетов нагрева и конвекции воздуха вблизи электронных устройств.

Ключевые слова: волновое число, размер неоднородности, пограничный слой, скорость отвода энергии, уравнения газовой динамики, компьютерного моделирования конвективных процессов

MODELING OF CONVECTIVE PROCESSES IN THE AIR NEAR THE SURFACE OF THE ELECTRONIC APPLIANCE THAT GENERATES HEAT

Akzhol M.J Joint Supercomputer Center of the Russian Academy of Sciences (RAS MDC), Senior Researcher, Moscow, www.jssc.ru, ak-1@mail.ru

Lebo I.G Moscow State Technical University of Radio Engineering, Electronics and Automation (Technical University), Professor, Moscow, mirea.ru, lebo@mail.ru

A.G Madera Research Institute for System Studies of the Russian Academy of Sciences (RAS NIISI), Head. Department, Moscow, niisi.ru, alexmadera@mail.ru

The description of the physical and mathematical model and the two-dimensional program «ENS_T» (Equation of Navies-Stocks with thermo conductivity) for the numerical solution of the Navier-Stokes equations with the thermal conductivity. The results of numerical calculations of heating and air convection near electronic devices.

Keywords: the wave number, size, heterogeneity, boundary layer, the rate of removal of energy, the equation of gas dynamics, computer simulation of convective processes

Введение

Вблизи поверхности электронного устройства с воздухом происходит передача тепла в газ, формируется переходной пограничный слой. Скорость отвода энергии будет существенно зависеть от конвективных процессов в газе и, возможно, теплопроводности. Влияние этого процесса возрастает с уменьшением масштаба неоднородности как $\sim k^2$, где $k = 2\pi/L$ - волновое число, а L - размер неоднородности. Поэтому в разрабатываемой авторами статьи программе был развит алгоритм расчета уравнения теплопроводности совместно с уравнениями газовой динамики и создана новая программа «ENS_T» (Equation of Navies-Stocks with thermo conductivity).

В настоящей статье представлены предварительные результаты компьютерного моделирования конвективных процессов в воздухе вблизи поверхности электронных устройств, выделяющих тепло.

1. Постановка задачи.

Газодинамические процессы в воздухе вблизи нагревающей поверхности описываются системой уравнений Навье-Стокса (1):

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} &= 0, \\ \frac{\partial \rho u}{\partial t} + \frac{\partial \rho u^2}{\partial x} + \frac{\partial \rho uv}{\partial y} + \frac{\partial p}{\partial x} &= \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \mu A \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right\} \\ \frac{\partial \rho v}{\partial t} + \frac{\partial \rho uv}{\partial x} + \frac{\partial \rho v^2}{\partial y} + \frac{\partial p}{\partial y} + \rho g_0 &= \\ \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \mu A \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right\} + \left\{ \mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right\}, & \quad (1) \\ \frac{\partial \rho E}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u E)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho v E)}{\partial y} + \frac{\partial (p u)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho v)}{\partial y} + \rho g_0 v &= \\ \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \mu A \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) u + \mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) v + \mu \frac{\partial}{\partial x} (u^2 + B \cdot J) \right\} + \\ \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \mu A \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) u + \mu \frac{\partial}{\partial y} (v^2 + B \cdot J) \right\} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \kappa T \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \kappa T \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right) \right\} \end{aligned}$$

где $\vec{W} = (u, v)$ - вектор скорости, J - удельная внутренняя энергия, E - полная удельная энергия, ρ - плотность газа, A, B - коэффициенты вязкости. Для идеального газа $A = \frac{2}{3}$, $B = \frac{\chi^2}{C_p}$, χ, C_p - коэффициент температуропроводности и теплоёмкость газа g_0 - ускорение свободного падения, направленное строго вдоль оси OY , T - температура, κ - коэффициент теплопроводности, $\chi = \frac{\kappa}{C_p \cdot \rho}$. Система уравнений (1) замыкается

уравнением состояния (2) $P = (\gamma - 1)\rho J = (\gamma - 1)\rho[E - (u^2 + v^2)/2]$, где (2).

γ - показатель адиабаты, p - давление. Для решения уравнений (1-2) использовался метод крупных частиц, описанный в [1].

Постановка задачи взята из [2], но расчеты были сделаны с учетом теплопроводности. Коэффициент теплопроводности воздуха $\kappa = 0.026$ Вт/(град·м), $C_p = 1004.8$ Дж/(кг·град). Поскольку в постановке задачи в [2] имелась зеркальная симметрия относительно прямой, проходящей через центр области параллельно оси OY , то в представленных ниже расчетах была взята левая половина счетной области. Размер этой области $L_x \times L_y = 0.09 \times 0.18$ м. На нижней границе расчетной области у правого края помещался теплоэлемент,

имеющий ширину 0.02 м. Он выделял мощность $W = 5$ Вт. Начальная плотность воздуха 1.225 кг/м³, а температура 300 град.К. В предыдущем варианте на верхней границе было задано условие второго рода, то есть $W_{up} = 0$. В рассматриваемом варианте задано условие первого рода $T_{up} = 300$ град. К. Таким образом, в новом варианте часть тепловой энергии покидает систему. (В предыдущем варианте размер теплоэлемента был задан 0.038 м, в новом – 0.04 м).

2. Результаты расчетов

В расчетах использовалась сетка 45x90 ячеек. Были выполнены расчеты с учетом влияния теплопроводности и гравитации (вариант а). Результаты расчетов сравнивались с данными, полученными без учета теплопроводности (вариант б).

На представленных ниже рисунках по оси абсцисс отложены номера ячеек счетной области. На рис.1 даны распределения температуры на моменты времени $t = 1$ сек для вариантов (а) и (б).

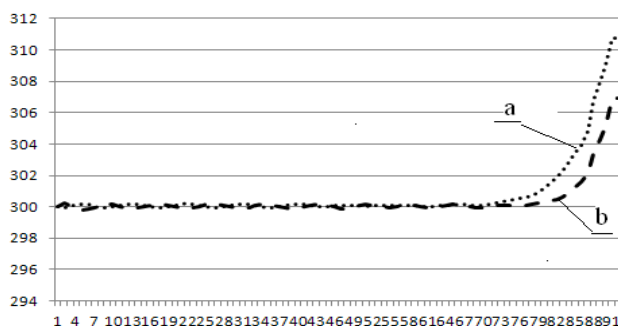


Рис.1. Распределение температуры вдоль оси OY при $x=0.09$ м на момент времени $t = 1$ сек для вариантов (а) и (б).

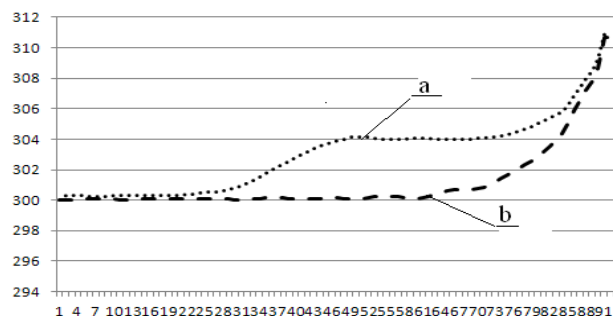


Рис.2. Распределение температуры вдоль оси OY при $x=0.09$ м на момент времени $t = 3.96$ сек для вариантов (а) и (б).

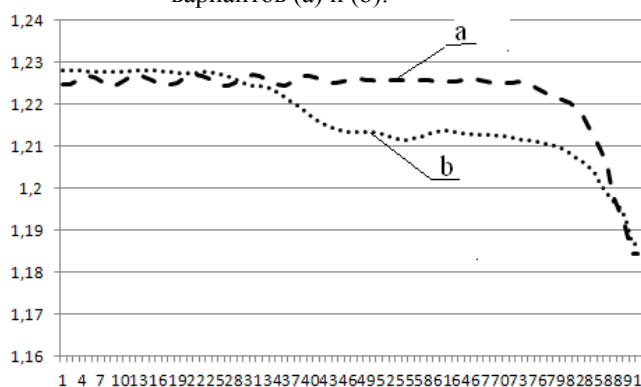


Рис.3. Распределение плотности при $x=0.09$ м на момент времени 1 и 3.96 с в варианте б).

На рис.3,4 показаны распределения плотности вдоль оси OY при $x=0.09$ м на моменты времени $t = 1$ сек --- (1) и 3.96 сек ••• (2) для вариантов (б) и (а).

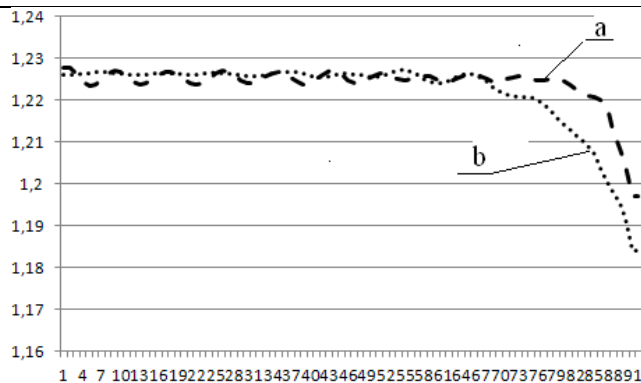


Рис. 4. Распределение плотностей вдоль оси OY при $x=0.09$ м на момент времени $t = 1$ сек - - - (1) и 3.96 сек ••• (2) для вариантов (а).

На рис.5, 6 показаны поля температуры в области на моменты времени $t = 1$ (а) и 3.96 сек (б) в вариантах с учетом и без учета теплопроводности.

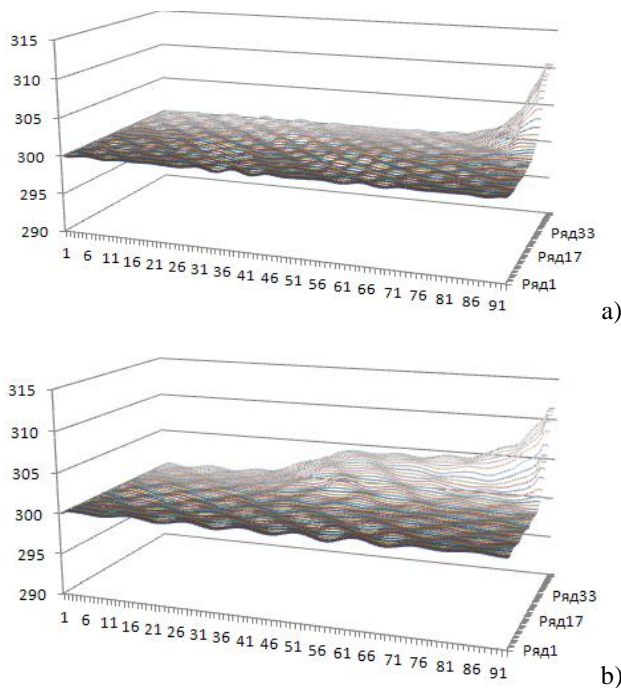
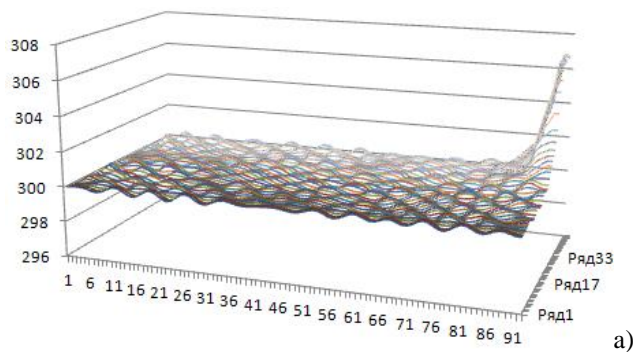


Рис.5. Поля температуры в варианте с учетом теплопроводности на моменты времени $t = 1$ (а) и 3.96 сек (б)



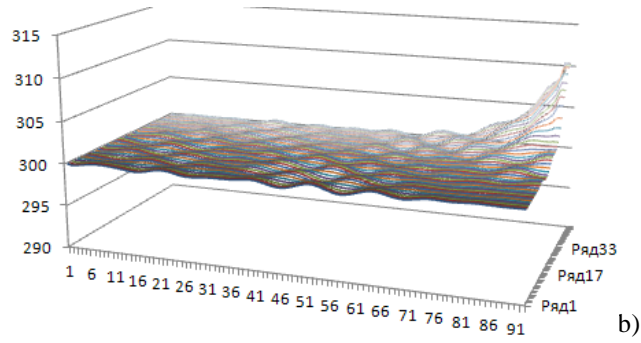
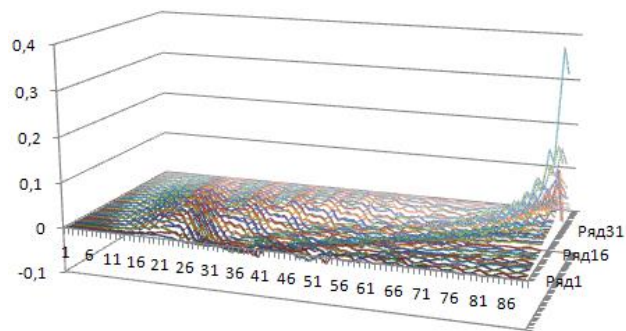
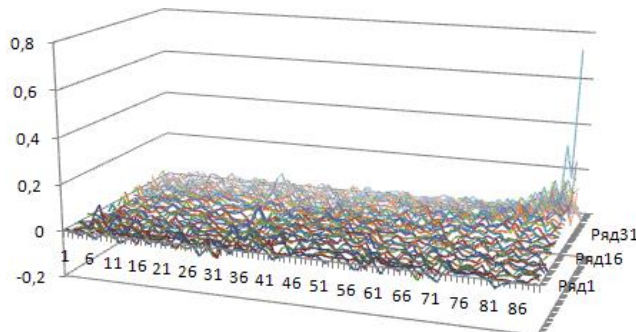


Рис.6. Поля температуры в варианте без учета теплопроводности при $t = 1$ сек (а) и при $t = 3.96$ сек (б).

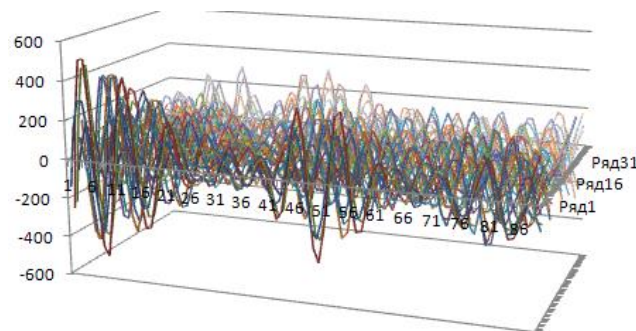
На следующих рисунках (рис.7а,б,с) показано развитие «вихрей» в газе ($rot\vec{V}$) на различные моменты времени (. а) $t=0,0004$ с, б) $t=0,03$ с, с) $t=1,00$ с).



а) $t=0,0004$ с



б) $t=0,03$ с



с) $t=1,00$ с

Рис.7. Развитие поля вихрей на моменты времени 0.0004, 0.03 и 1 с.

В начальные моменты времени вихри формируются вблизи тепло- элемента. Звуковые волны, отразившись от верхней и боковых стенок, двигаются в противоположном направлении и «интерferируют» с новыми зародившимися волнами. В результате формируются вихревые структуры. К моменту времени $t = 1$ вихри распространилось по всей области счета.

Выводы

1. Разработана физико-математическая модель и создана двумерная программа «ENS_T» для решения уравнений газовой динамики с учетом вязкости и теплопроводности.

2. Проведены расчеты, моделирующие конвекцию и диссипацию энергии вблизи нагревающей поверхности электронного устройства.

3. Сделано сравнение с результатами расчетов, выполненных по программе «ENS_G», и показано, что на масштабах неоднородностей порядка 1 см и мощности теплоэлемента порядка 10 Вт процесс теплопроводности не дает существенного вклада, хотя из-за оттока тепла в варианте а) температура несколько ниже, чем в варианте б).

С развитием вихревых течений роль теплопроводности может возрасти.

4. Получены предварительные результаты по зарождению вихревых течений вблизи электронного нагревательного устройства в воздухе.

Список литературы

1. О.М. Белоцерковский, Ю.М. Давыдов. Метод крупных частиц в газовой динамике. // Москва, Наука, 1982.
2. М.Ж. Акжолов, П.И. Кандалов, И.Г. Лебо, А.Г. Мадера. Компьютерное моделирование конвективных процессов в воздушной среде вблизи электронных устройств. Труды НИИСИ РАН, т.1, №2, 44-46, 2011.

References

1. O.M. Belotserkovskii, Y.M. Davydov. Method of large particles in gas dynamics. // Moscow, Nauka, 1982.
2. M..J Akzhol, P.I. Shackles, I.G. Lebo, A.G. Madera. Computer modeling of convection processes in the air near the electronic devices. Proceedings NIISI Sciences, Volume 1, №2, 44-46, 2011.