

исходной при дальнейшей разработке на основании совпадения результатов для предыдущих случаев.

В среде с ненулевой дивергенцией (в сжимаемом газе) при изменении скорости среды вдоль направления распространения акустической волны также имеются факторы, которые могут обусловить возникновение поля отраженных волн. Пульсации давления в турбулентном потоке позволяют указать на один из этих факторов. Еще один фактор может быть получен на основе анализа сопутствующего изменения продольной скорости [5]. Если считать, что имеется только изменение движения, как в одномерной задаче [5], без притока вещества или изменения его параметров, то на основании условий равенства звуковых давлений и нормальных составляющих скорости акустического течения с обеих сторон границы раздела потоков имеем:

$$P_{s2} = P_{s0} \frac{\cos \varphi_0 - \cos \varphi_1}{\cos \varphi_0 + \cos \varphi_1} . \quad (19)$$

Очевидно, что при $\varphi_0 = 0$ и $\varphi_1 = 0$, поэтому, используя эту модель, отражение получить нельзя, поскольку это противоречит коэффициенту отражения, полученному в [8]. Поэтому необходимо из исходных уравнений использовать слагаемые третьего порядка малости. Вероятно, что в данном случае следует учитывать процессы, представленные на рис. 8, 9. Поэтому для учета этих факторов необходимо начинать анализ исходной системы, так как выбранный уровень решения описания этих явлений не предполагает.

Выводы

Результаты численного моделирования показывают, что предложенная модель позволит точнее описать рассеяние волн в реальной турбулентной среде.

УДК 658.51.011.56

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ФОРМЫ АППАРАТА СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

СИНОТИН А.М.

Приводится приближенный метод определения коэффициента формы сложных аппаратов, а также расчетные зависимости, полученные из условия приближенного подобию температурных полей. Дается оценка возможных ошибок метода и способов их уменьшения для тел с большой асимметрией формы.

Актуальность

Актуальность определения тепловых режимов радиоэлектронных аппаратов (РЭА) на начальных этапах проектирования заключается в том, что лишь несколько процентов подводимой мощности расходуется на полезное преобразование сигнала, остальная часть выделяется в виде тепловой энергии. Температурный режим ограничивает степень

Проведенный анализ открывает возможности усовершенствования известных и создания новых средств зондирования. В частности, можно сделать вывод о перспективности использования разнесенного синхронного приема для оценки характера турбулентных пульсаций.

Вероятно, что наиболее интересным направлением теоретического развития будет анализ рассеяния волн движущейся средой. Однако наиболее ценными будут экспериментальные результаты.

Литература: 1. *Красненко Н.П.* Акустическое зондирование атмосферы. Новосибирск: Наука, 1986. 166 с. 2. *Татарский В.И.* Распространение волн в турбулентной атмосфере. М.: Наука, 1967. 548 с. 3. *Блохинцев Д.И.* Акустика неоднородной движущейся среды. М.: Наука, 1981. 208 с. 4. *Каллистратова М.А., Кон А.И.* Радиоакустическое зондирование атмосферы. М.: Наука, 1985. 198 с. 5. *Панченко А.Ю.* Особенности использования метода однократного рассеяния акустических волн в слабонеоднородных газовых средах // Радиотехника. 2002. №129. С. 110-114. 6. *Тихонов А.Н., Самарский А.А.* Уравнения математической физики. М.: Наука, 1972. 736 с. 7. *Лойцянский Л.Г.* Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1978. 736 с. 8. *Панченко А.Ю.* Отражение акустических волн от плоской струи // Радиотехника. 2002. №130. С. 68-71. 9. *Алехин В.И.* Исследования пограничного слоя атмосферы методом акустического зондирования // Радиотехника. 1998. №106. С.6-14.

Поступила в редколлегию 24.06.2004

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Чумаков В.И.

Панченко Александр Юрьевич, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры микроэлектроники, электронных приборов и устройств ХНУРЭ. Научные интересы: радиофизика, микроэлектроника, неразрушающий контроль материалов и изделий. Адрес: Украина, 61736, Харьков, пр. Ленина, 14, тел.: (057) 7021-362.

уменьшения РЭА, что снижает надежность, вызывает необходимость применения охлаждения, приводит к увеличению веса и габаритных размеров. При расчете температурных полей РЭА сложных форм требуется знание коэффициента формы.

Цель исследований — получить зависимости, позволяющие упростить определение коэффициента формы сложных аппаратов.

Постановка задачи и методы решения

При решении практических задач, связанных с исследованием и расчетом температурных полей радиоэлектронных аппаратов с плотным монтажом, широко применяются методы регулярного теплового режима [1,4].

Для расчета основной характеристики такого процесса — темпа регулярного режима $m \text{ с}^{-1}$ — наряду с теплофизическими константами материала и среды необходимо знать коэффициент формы тела (нагретой зоны РЭА) $K, \text{ м}^2$. Для тел основных форм (шар, пластина, цилиндр) существуют строгие расчетные зависимости, позволяющие определять K . Для тел сложной конфигурации получение таких

зависимостей сопряжено, практически, с непреодолимыми математическими трудностями и К определяют опытным путем. Методика испытаний, как и все методы регулярного режима, сравнительно проста и доступна, но вызывает дополнительные затраты времени на изготовление моделей, проведение экспериментов и так далее. Это существенно сдерживало применение методов регулярного режима для исследования РЭА и их элементов, когда форма аппаратов имела некоторые деформации по отношению к параллелепипеду, цилиндру и другим.

В целях получения расчетных зависимостей для К в данной работе был применен метод приближенного подобия температурных полей. Это позволило отказаться от решения уравнения теплопроводности и избежать связанных с ним математических трудностей при расчете аппаратов сложной конфигурации.

Согласно методу приближенного подобия все тела произвольной формы по характеру температурного поля могут быть разбиты на три группы: 1) тела с тремя измерениями одного порядка; 2) с двумя измерениями одного порядка и бесконечно большим третьим измерением; 3) с двумя бесконечно большими измерениями и одним измерением конечного порядка. В качестве эталонного тела в первой группе выступает равновеликий по объему шар радиуса $R_{ш}$; во второй группе – бесконечный цилиндр радиуса $R_{ц}$ и в третьей группе – бесконечная пластинка толщиной $\Delta_{п}$. Соответственно коэффициенты формы эталонных форм равны:

$$K_{ш} = \frac{R_{ш}^2}{\pi^2}; K_{ц} = \frac{R_{ц}^2}{2,405}; K_{п} = \frac{\Delta_{п}^2}{\pi^2}. \quad (1)$$

Значения $R_{ш}$, $R_{ц}$, $\Delta_{п}$ определяются из условия равновеликости объемов эталонного и исследуемого тел.

Нестационарное, одномерное температурное поле для тела каждой группы выражается критериальной зависимостью:

$$\Theta = \Theta(H, F_{0k}, \frac{r}{R_{эт}}), \quad (2)$$

где Θ – относительная температура; $H = \alpha s K / \lambda V$ – обобщенный критерий Био; $F_{0k} = \alpha \tau / K$ – обобщенный критерий Фурье; α, λ – теплопроводность и теплопроводность, m^2/c ; $wt / m \cdot \text{град}$; α – коэффициент теплоотдачи, $wt \cdot m^{-2} \cdot \text{град}^{-1}$; $r/R_{эт}$ – критерий местоположения; $R_{эт}$ – определяющий размер ($R_{эт} = R_{ш}, R_{ц}, \Delta_{п}$), м; V, s – объем и охлаждаемая поверхность, m^3, m^2 ; τ – время, с.

Из теории приближенного подобия в явлениях теплопроводности [2] следует: 1) при рассмотрении подобия температурных полей аппаратов сложной конфигурации, относящихся к одной группе, можно исключить обязательность геометрического подобия, а температурные поля на некотором уда-

лении от охлаждаемой поверхности считать практически одномерными; 2) имеет место приближенное подобие температурных полей исследуемого и равновеликого по объему эталонного тела данной группы, выполненного из того же материала и имеющего те же условия теплообмена по закону Ньютона с окружающей средой. Теплофизические коэффициенты и температура окружающей среды предполагаются постоянными:

$$V_{эт} = V; a_{эт} = a; \lambda_{эт} = \lambda; \alpha_{эт} = \alpha. \quad (3)$$

Приближенное подобие означает практически точное подобие в сходственных точках на некотором удалении от охлаждаемой поверхности и подобие средних температур в сходственных сечениях вблизи и на охлаждаемой поверхности аппаратов в сходственные моменты времени. Сходственными точками (поверхностями) являются точки (поверхности), имеющие одинаковые значения критерия $r/R_{эт}$. Сходственные моменты времени определяются из соотношения:

$$\tau_{эт} = A \tau, \quad (4)$$

где $A = s/s_{эт}$ – критерий приближенного подобия.

Согласно общей теории подобия, а также с учетом приведенных выше положений приближенного подобия и уравнений (2), (3) можно сказать, что всегда имеет место равенство определяющих критериев подобия исследуемого и эталонного аппарата группы:

$$H_{эт} = H; F_{0k_{эт}} = F_{0k}. \quad (5)$$

Подставляя значения H и F_{0k} из (2) в (5), приходим к равенствам:

$$\tau_{эт} = 1/E \cdot \tau; \quad (6)$$

$$E = s_{эт} / s, \quad (7)$$

где $E = K/K_{эт}$ – относительный коэффициент формы.

Равенства (6) и (7) выражают существующее при приближенном подобии условие (4) и устанавливают связь между A и E .

Таким образом, относительный коэффициент формы есть величина, обратная критерию приближенного подобия.

Равенства (7) и (1) являются расчетными зависимостями для получения относительного и абсолютного значения коэффициента формы аппарата произвольной конфигурации.

Рассмотрим порядок расчета E и K на примере аппарата первой группы в форме куба со стороной l_m ; $s = 6l_m^2, m^2$; $V = l_m^3, m^3$; из условия равновеликости объемов $R_{эт} = R_{ш} = \sqrt[3]{3/4\pi m}$;

$$s_{эт} = 4\pi R_{эт}^2 = 4\pi l_m^2 \sqrt[3]{9/16\pi^2}, m^2;$$

по формуле (1) $K_{эт} = K_{ш} = l_m^2 / \pi^2 \sqrt[3]{9/16\pi^2}, m^2$;

из (7)

$$E = s/s_{эТ} = 4\pi l^2 / 6l^2 \sqrt{9/16\pi^2} = 0,81 \text{ и}$$

$$K = EK_{эТ} = 0,811^2 / \pi^2 \sqrt{9/16\pi^2} = 0,0321^2, \text{ м}^2.$$

В таблице приведены значения E для ряда аппаратов первой группы, полученные расчетом по (7).

Для сравнительной оценки таблица содержит значения E этих же аппаратов, полученные экспериментально или по точным расчетным формулам [4].

Анализ таблицы показывает, что расчет относительного коэффициента формы E по (7) удовлетворительно согласуется с данными экспериментов [3] и расчетами по точным формулам для простых форм. Для аппаратов с симметричной конфигурацией во всех трех направлениях даже с такой значительной деформацией охлаждаемой поверхности по отношению к шару, как правильный тетраэдр или куб, ошибка расчетов по (7) не превышает 6%.

Нарушение симметрии, деформация поверхности преимущественно в одном направлении и так далее ведут к увеличению ошибки расчетов по (7). Так, для конуса ошибка составила уже 15% (см. таблицу).

№	Форма тела	E по (7)	$E_{оп.}$	$E_{расч.}$	$\delta E\%$
1	Арх. цил.	0,875	-	0,912	4
2	Куб	0,810	-	0,865	6
3	Трехгранная призма	0,715	0,692	-	3
4	Конус	0,765	0,668	-	15
5	Правильный тетраэдр	0,670	0,635	-	6
6	Тело вращ. (см. рис. 1)	0,965	0,960	-	1
7	Тело вращ. (см. рис. 2)	0,920	0,885	-	4

Таким образом, полученные по методу приближенного подобию расчетные зависимости (7) и (1) могут быть использованы для расчета коэффициента формы аппаратов (нагретых зон РЭА с плотным монтажом) сложной конфигурации.

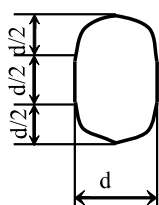


Рис. 1

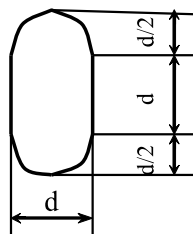


Рис.2

Для аппаратов с явно выраженной асимметрией формы (конус, клин и другие) ошибка расчета возрастает, но рассмотренный метод позволяет в этом случае значительно упростить и ускорить постановку эксперимента. Модель должна копировать лишь главные очертания формы, а все внешние деформации и искажения учитываются расчетом по (7), где в качестве $K_{эТ}$ будет выступать полученное из опыта значение коэффициента формы.

Изложенный метод может быть использован и для экспериментального определения по методу регулярного режима теплофизических коэффициентов и коэффициентов теплообмена непосредственно на натуральных объектах сложной конфигурации, минуя модели.

Выводы

1. *Научная новизна* – по методу приближенного подобию температурных полей получены зависимости для расчета коэффициентов формы аппаратов (нагретых зон РЭА с плотным монтажом) сложной конфигурации.

2. *Значимость* – данные зависимости значительно упрощают проведение тепловых расчетов аппаратов сложной конфигурации на начальных стадиях их проектирования. Так как для тел сложной конфигурации получение таких зависимостей сопряжено, практически, с непреодолимыми математическими трудностями, K определяют опытным путем.

3. *Сравнение с аналогами* – имеющиеся в литературе зависимости для определения коэффициента формы тел приведены только для эталонных тел [1, с. 87].

4. Дана оценка возможных ошибок метода и способов их уменьшения для тел сложной конфигурации.

5. Изложенный метод может быть применен и для экспериментального определения по методу регулярного режима теплофизических коэффициентов и коэффициентов теплообмена непосредственно на натуральных аппаратах сложной конфигурации, минуя модели.

Литература: 1. Дульнев Г.Н., Тарновский Н.Н. Тепловые режимы электронной аппаратуры. Л.: Энергия, 1971. 248 с. 2. Вейник А.И. Техническая термодинамика и основы теплопередачи Л.: Металлургиздат, 1956. 387 с. 3. Кондратьев Г.М. Регулярный тепловой режим. Гостехиздат. 1954. 328 с. 4. Вессельман С.Г., Майко И.М., Оксман А.Л. Регулярный тепловой режим в радиоэлектронных аппаратах с переменной мощностью // Изв. вузов СССР. Радиоэлектроника. 1969. № 12. С.1424–1429.

Поступила в редколлегию 02.12.2003

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Алипов Н.В.

Синотин Анатолий Мефодиевич, канд. техн. наук, доцент кафедры социальной информатики ХНУРЭ. Научные интересы: проектирование, автоматизация и производство радиоэлектронной аппаратуры. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-591.