

Сенюшкин Н. С., Харитонов В. Ф.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В ЭЛЕМЕНТАХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ  
НА ОСНОВЕ МОДУЛЬНОГО МЕТОДА**

Адрес статьи: [www.gramota.net/materials/1/2008/7/64.html](http://www.gramota.net/materials/1/2008/7/64.html)

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

**Альманах современной науки и образования**

Тамбов: Грамота, 2008. № 7 (14). С. 183-186. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: [www.gramota.net/editions/1.html](http://www.gramota.net/editions/1.html)

Содержание данного номера журнала: [www.gramota.net/materials/1/2008/7/](http://www.gramota.net/materials/1/2008/7/)

**© Издательство "Грамота"**

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: [www.gramota.net](http://www.gramota.net)

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: [almanac@gramota.net](mailto:almanac@gramota.net)

ромагнитного и акустических полей. Известно [Мироненко и др. 200: 105], что при прохождении в морской среде звуковой волны через область с переменным электромагнитным полем генерируются добавочные акустические гармоники. Однако в настоящее время нет полной ясности в отношении механизма этой генерации. Возможное предположение о механизме генерации дополнительных звуковых гармоник, которое мы исследуем в данной работе, заключается в том, что акустические гармоники создаются механическим воздействием электромагнитного поля на индуцированные токи (пондеромоторные силы).

Предположим, что звуковая волна, созданная акустическим источником с частотой  $\omega$ , распространяется в морской среде, где находится искусственный источник электромагнитного поля (антенна) с частотой  $\omega_0$ . Магнитное поле  $\mathbf{B}$  является суперпозицией постоянного геомагнитного поля  $\mathbf{F}$  и осциллирующего поля антенны  $\mathbf{B}_0$ . Ограничимся только рассмотрением влияния магнитной составляющей электромагнитного

поля антенны. Записав поле антенны в виде  $\mathbf{B}_0 = \frac{1}{2} \mathbf{b}_0 (e^{i\omega_0 t} + e^{-i\omega_0 t})$  и  $\mathbf{V} = \mathbf{u} e^{i\alpha}$ , получим выражение для плотности пондеромоторной силы. Это выражение будет содержать слагаемые с различными частотами.

Ограничимся теми слагаемыми, частоты которых равны  $\omega_{\pm} = \omega \pm \omega_0$  и  $\omega_0$ . Звуковое давление гармоник с частотами  $\omega_{\pm}$

$$P_{\pm} = -\frac{i\sigma k_{\pm} u_0 F_z \cos \alpha}{4\pi r} e^{-ik_{\pm} r} I \quad (6)$$

$$I = \int B_{0z} e^{i(\mathbf{k}_1, \mathbf{r}')} d\mathbf{r}' \quad , \text{ где } \mathbf{k}_1 = k_{\pm} \mathbf{e}_r - \mathbf{k} \quad , \quad \alpha = \angle(\mathbf{e}_r, \mathbf{k}) \quad (7)$$

а для звуковой гармоники с частотой  $\omega_0$ ,

$$P_0 = \frac{\sigma \omega_0 k_0}{4\pi r} e^{-ik_0 r} \int e^{i\mathbf{k}_0(\mathbf{e}_r, \mathbf{r}')} (\mathbf{e}_r, [\mathbf{A}_0, \mathbf{F}]) d\mathbf{r}' \quad (8)$$

Таким образом, формулы (6)-(8) дают возможность рассчитать дополнительные акустические гармоники для известного электромагнитного поля источника.

Расчет интеграла (7) проведем для случая, когда магнитное поле  $\mathbf{B}_0$  является полем магнитного диполя с моментом  $\mathbf{m} = \mathbf{m}_0 e^{i\omega_0 t}$ , ориентированным по направлению вектора  $\mathbf{F}$ . Примем векторный потенциал диполя равным

$\mathbf{A}_0 = \mu_0 \frac{[\mathbf{m}_0, \mathbf{r}]}{r^3}$ , то есть в виде векторного потенциала стационарного диполя с переменным магнитным моментом  $\mathbf{m}$ . Это предположение оправдано для достаточно малых частот  $\omega_0$  когда можно пренебречь токами смещения и процессом излучения ЭМ волн. В этом случае

$$P_{\pm} = i\mu_0 m_0 \sigma k_{\pm} u_0 F_z \cos \alpha \frac{e^{-ik_{\pm} r}}{r} \quad , \quad P_0(r, t) = -i\sigma \mu_0 \omega_0 m_0 F_z \frac{e^{i(\omega_0 t - k_0 r)}}{r}$$

Эти формулы позволяют оценить акустические давления гармоник, генерированных осциллирующим магнитным диполем.

#### Список использованной литературы

1. Крутецкий И. В. Электромагнитные поля и волны в морской среде. - Л.: Судостроение, 1982. - 256 с.
2. Мироненко М. В., Короченцев В. И. Взаимодействие упругих и электромагнитных волн в морской среде // Труды международного симпозиума «Подводные технологии 2000». - Япония, 2000. - С. 105-109.
3. Савченко В. Н., Смагин В. П., Фонарев Г. А. Вопросы морской электродинамики. – Владивосток: ВГУЭС, 1999. - 208 с.
4. Смагин В. П., Савченко В. Н., Семкин С. В. Магнитные вариации волнения в прибрежной зоне моря с плоским наклонным дном // Геомагнетизм и аэронавигация. – 2005. - № 4. - С. 559-563.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В ЭЛЕМЕНТАХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ МОДУЛЬНОГО МЕТОДА

Сенюшкин Н. С., Харитонов В. Ф.

ГОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет»

Газотурбинный двигатель (ГТД) является одним из самых сложных технических устройств, созданных человеком. При разработке ГТД широко используются различные методы моделирования рабочего процесса, в том числе *модульный* метод.

*Модуль* - отделяемая, относительно самостоятельная часть какой-либо системы или устройства. Это может быть унифицированный элемент (или часть сложной системы), оформленный конструктивно как само-

стоятельный узел и выполняющий определенную функцию в различных технических устройствах. Например, для газотурбинного двигателя могут рассматриваться следующие модули: входное устройство, компрессор, камера сгорания, турбина и др.

Основные принципы модульного метода заключаются в следующем.

1. Техническое устройство (или его функциональный узел) рассматривается как совокупность типовых элементов, *модулей*, каждый из которых выполняет определенные функции.

2. Каждый модуль имеет свою математическую модель.

3. Различают модули:

- с фиксированной математической моделью без условий выбора - модули первого типа (например, для каждого типа камеры сгорания есть свой модуль: “камера сгорания кольцевая”, “камера сгорания трубчатая” и т.д.);

- с разветвленной математической моделью, имеющей условия выбора - модули второго типа (например, имеется модуль “камера сгорания”, для которого выбор модели для камеры данного типа - кольцевая или трубчатая - осуществляется заданием числового признака).

4. Формируется библиотека базовых модулей.

5. Для решения задач анализа рабочего процесса из имеющихся модулей создается *расчетная модель (расчетная схема)*, в которой модули соединяются между собой в соответствии, например, с движением рабочего тела (газа, воздуха) в двигателе.

6. Математическая модель технического устройства формируется в виде совокупности математических моделей отдельных модулей.

Предложенный модульный метод, по сравнению с другими методами моделирования двигателей (сетевым, интегральным), обладает достаточной гибкостью и универсальностью, так как позволяет:

1. моделировать двигатели (или их узлы), имеющие различные схемы, используя единую библиотеку модулей. При этом переход от одной схемы к другой не требует изменения математических моделей модулей. Достаточно собрать новую расчетную схему из элементов имеющегося набора;

2. использовать для каждого модуля различные математические модели;

3. создавать гибкие и «открытые» системы моделирования (т.е. развиваемые за счет ввода и новых модулей, и новых математических моделей для каждого модуля);

4. решать задачи как поверочного, так и проектировочного характера, не перестраивая расчетного алгоритма (эта возможность обеспечивается применяемым численным методом и схемой организации расчета).

Рассмотрим, как реализуется модульный метод применительно к задачам моделирования газодинамики и теплового состояния *камер сгорания* газотурбинных двигателей.

*Камера сгорания*, как один из основных узлов ГТД, играет существенную роль в обеспечении его технических характеристик. Несмотря на кажущуюся простоту устройства (отсутствие вращающихся и подвижных элементов, большое число деталей), её рабочий процесс отличается необычайной сложностью. Он представляет собой совокупность физико-химических процессов, протекающих в потоке движущегося газа практически одновременно и влияющих друг на друга: течение газообразной среды, теплообмен, распыливание и испарение топлива, смесеобразование, воспламенение, горение, смешение воздуха и продуктов сгорания. Создание камер сгорания требует проведения большого объема физических экспериментов. Вследствие этого, разработка эффективных методов и средств их математического моделирования является актуальной задачей.

В УГАТУ разработана система компьютерного моделирования камер сгорания ГТД “Камера” [Коновалова 2000: 1]. Последняя версия этой системы, “Камера-4.00”, предназначенная для газодинамического и теплового анализа, имеет библиотеку из 16 модулей, охватывающих все основные конструктивные элементы камер сгорания. Пиктограммы модулей показаны на Рис. 1.

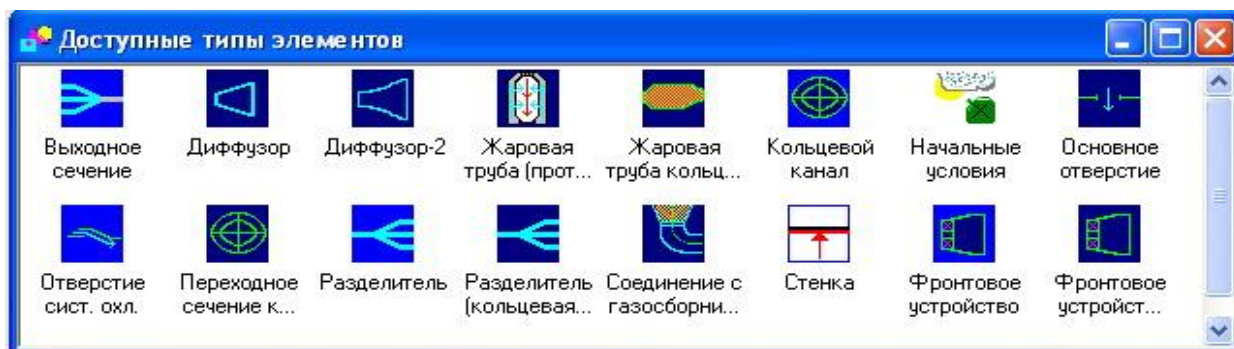


Рис. 1.

В качестве моделей элементов используются одномерные соотношения, в том числе, полученные при обобщении результатов экспериментальных исследований и статистических данных по разработанным камерам сгорания.

Рассмотрим в качестве примера моделирование процессов в камере сгорания вертолетного ГТД (Рис. 2).

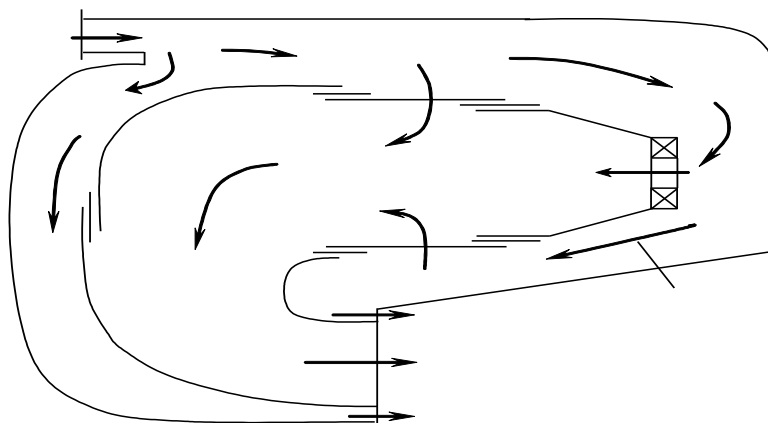


Рис. 2. Принципиальная схема кольцевой противоточной камеры сгорания (стрелками показано распределение потоков воздуха в проточной части)

Расчетная схема камеры сгорания, сформированная в системе “Камера-4.00”, приведена на Рис. 3.

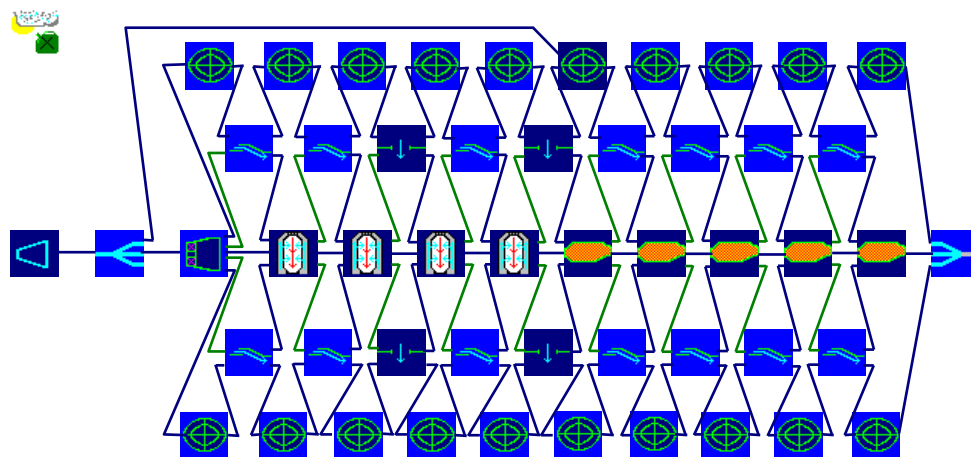


Рис. 3.

Моделирование газодинамических процессов позволяет рассчитать распределение параметров по длине камеры сгорания (Рис. 4) и оценить потери полного давления в ней. Результаты анализа соответствуют основным закономерностям протекания рабочего процесса в камерах такого типа.

Сложность происходящих в камере сгорания процессов диктует необходимость применения систем моделирования, позволяющих решать задачи расчетного анализа в области различных дисциплин - газодинамики, горения, эмиссии, теплообмена, прочности, то есть *многодисциплинарных* систем. Такие системы также могут базироваться на модульном методе. При этом модули фактически будут являться элементной базой этих систем, причем модуль может быть как монодисциплинарным (например, включать в себя только газодинамические соотношения), так и многодисциплинарным. Разработанная система “Камера-4.00” фактически является двухдисциплинарной системой, позволяющей не только рассчитывать параметры газа и воздуха в проточной части камеры, но определять температуры её стенок, что является необходимым условием для последующей оценки времени безотказного функционирования (ресурса).

Система “Камера-4.00” используется как для моделирования и предварительного проектирования камер сгорания, так и в учебном процессе, в частности, при выполнении лабораторных работ по соответствующей дисциплине. Данная система позволяет за *ограниченный* отрезок времени (3 часа) сформировать расчетную модель камеры (фактически, разработать принципиальную конструктивную схему), выполнить варианты расчеты, провести параметрическое исследование для основных технических характеристик (например, изучить влияние площадей отверстий в жаровой трубе на потери полного давления), усвоить основные закономерности изменения газодинамических параметров в проточной части камеры и их взаимосвязь. Заменяя одноименные модули с различными математическими моделями (или переключая модели внутри модуля), можно установить, например, влияние эмпирических коэффициентов модели на выходные параметры камеры сгорания.

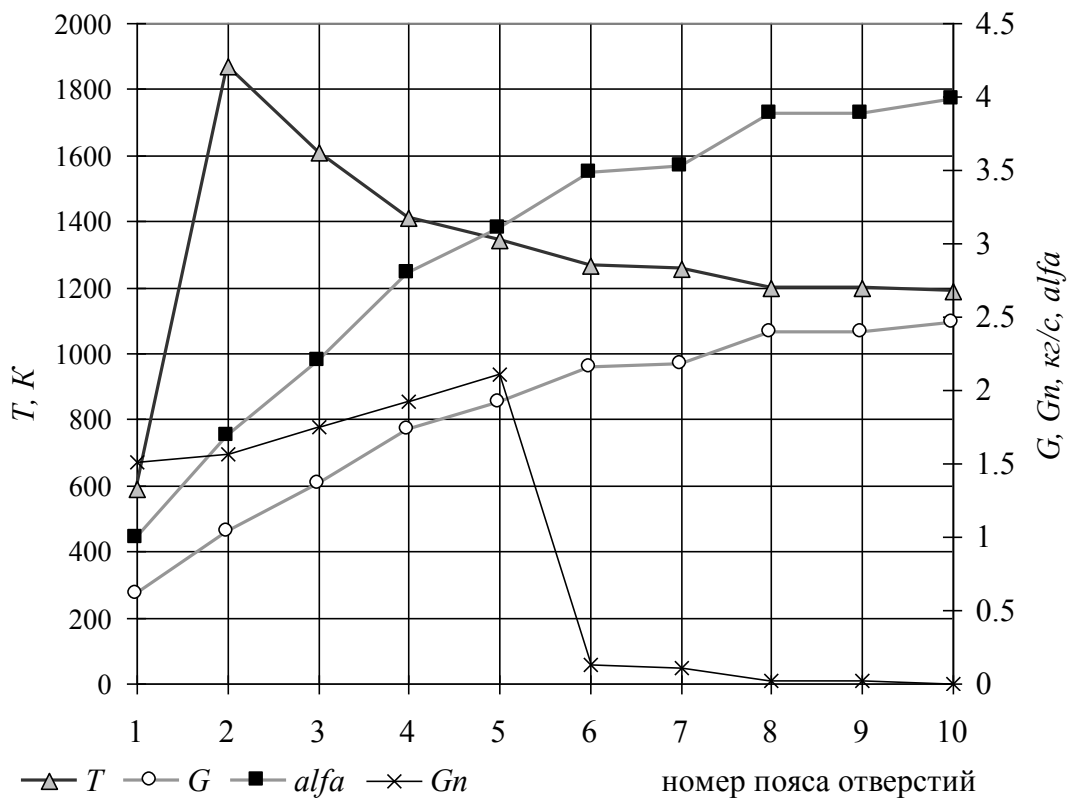


Рис. 4. Распределение температуры газа ( $T$ ) и расхода газа ( $G$ ) в жаровой трубе, расхода воздуха в наружном кольцевом канале ( $G_n$ ), коэффициента избытка воздуха ( $alfa$ ) по длине жаровой трубы противоточной камеры сгорания

Список использованной литературы

1. Коновалова А. В., Кожин Д. Г., Харитонов В. Ф. Система газодинамического анализа камер сгорания ГТД // Авиационная техника: Известия вузов. - 2000. - № 4. - С. 58-60.

## ГРУППИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БД ACCESS

Склубовский А. А.

Санкт-Петербургский государственный университет путей сообщения

В современном машиностроении особо остро встает вопрос группирования деталей (изделий) в единичном, мелкосерийном и среднесерийном производстве, а в некоторых случаях также в крупносерийном и массовом производствах на основе выявления конструктивно-технологических признаков деталей (изделий) [Митрофанов 1983].

В системе комплексной механизации необходим такой способ присвоения обозначений деталям, который бы позволил их кодировать еще до начала фактической разработки. Причем следует применять смысловое кодирование, которое обеспечило бы группирование однотипных изделий на самом начальном этапе разработки, т.е. нельзя применять наиболее простой способ, заключающийся в присвоении числовых обозначений в порядке возрастания номеров в заданном диапазоне значений.

Из числа известных в настоящее время классификаторов обозначений деталей наибольший интерес с точки зрения реализации в системе комплексной автоматизации представляет классификатор ЕСКД ГОСТ 2.201-80. В этом классификаторе для обозначения деталей (изделий) установлена единая структура [Классификатор ЕСКД 1986].

Первые четыре буквы код организации-разработчика, назначаемый по кодификатору предприятий. После кода организации-разработчика назначается код классификационной характеристики, который состоит из шести цифр (Рис. 1). Первые две цифры классификационной характеристики обозначают класс детали (изделия).

Деление деталей на классификационные группировки осуществляется на основе классификационных признаков, характеризующих свойства деталей. С каждой последующей ступенью классифицируемого множества возрастает степень конкретности классификационных признаков.

В классификаторе ЕСКД под детали машиностроения и приборостроения выделено шесть классов (с 71 по 76). В классах 71-75 множество деталей разделено по геометрической форме на три подмножества: