



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ «Специальное машиностроение» (СМ)

КАФЕДРА «Ракетные и импульсные системы» (СМ-6)

ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

по дисциплине: «Газовая динамика»

на тему: «Расчет одномерных стационарных течений газа в
соплах»

Вариант №777

Выполнил: студент группы СМ6-42

(подпись, дата)

В.В. Петров

Проверил:

(подпись, дата)

В.А. Федулов

Москва, 2024 г.

Задание

Для заданных параметров газа в камере (полное давление ρ_0 , полная температура T_0 , индивидуальная газовая постоянная R_0 , показатель адиабаты k) и геометрии сопла (диаметр камеры D_k , диаметр критического сечения d_* , углы α и β) решить следующие задачи.

1. По заданным геометрическим параметрам построить геометрию сопла Лавала и график зависимости площади поперечного сечения сопла от координаты.
2. Определить газодинамические характеристики течения в сопле.
 - 2.1. Найти распределение числа Маха и скоростной коэффициент λ по координатам с использованием численных методов для решения нелинейных уравнений. Для этого как в дозвуковой, так и сверхзвуковой части нужно взять не менее 50 расчетных точек.
 - 2.2. Найти распределение всех газодинамических параметров (скорости течения газа, давления, температуры, плотности) по длине сопла и построить соответствующие графики. Проанализировать и объяснить изменение всех газодинамических величин по длине сопла.
 - 2.3. Проанализировать и объяснить поведение расхода, приходящегося на единицу площади поперечного сечения, по длине сопла.
 - 2.4. Построить график массового расхода G по длине сопла и сделать соответствующие выводы.
3. Рассчитать силовые характеристики сопла.
 - 3.1. При внешнем давлении равном атмосферному ($\rho_n = 10^5$ Па), вычислить тягу и удельную тягу.
 - 3.2. Определить степень нерасчетности сопла при заданных геометрических параметрах. Рассчитать потребную длину сопла, при которой оно работает на расчетном режиме.
 - 3.3. Рассчитать тягу сопла в вакууме и удельную тягу в вакууме. Определить идеальную скорость ракеты по формуле Циолковского при заданном отношении массы топлива к массе ракеты.

4. Сформулировать соответствующие выводы.

В таблице 1 приведены исходные данные для расчета. В коде ссылка на таблицу выглядит так:

В таблице~\ref{table:initial_data}
приведены исходные данные для расчета.

Таблица 1. Исходные данные

ρ_0 , МПа	T_0 , К	R , Дж/(кг·К)	k	d_* , см	ν_B , м/с	D_K	α	β	μ_T
5.5	2557	339	1.27	53.1	8.2	$1.9d_*$	43.9°	11.6°	0.67

Вот как эта таблица выглядит в исходном файле:

```
\begin{table}[h]
% Название таблицы
\caption{Исходные данные}
% Метка для ссылки
\label{table:initial_data}
% Выравнивание таблицы
\centering
% Перерасчёт ширины таблицы
\resizebox{\textwidth}{!}
{
% Сама таблица
\begin{tabular}{|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|}
\hline
 $\rho_0$ , МПа &
 $T_0$ , К &
 $R$ , Дж/(кг·К) &
 $k$  &
 $d_*$ , см &
 $\nu_B$ , м/с &
 $D_K$  &
 $\alpha$  &
 $\beta$  &
 $\mu_T$ 
\end{tabular}
}
```

```

\mu_{\tau} \quad \quad [3mm]
\hline
5.5 \quad &
2557 \quad &
339 \quad &
1.27 \quad &
53.1 \quad &
8.2 \quad &
1.9 d_{*} \quad &
43.9 \text{degree} \quad &
11.6 \text{degree} \quad &
0.67 \quad \quad
\hline
\end{tabular}
}
\end{table}

```

Методика решения

Осваиваем формулы

Пример встроенной в строку формулы $ax^2 + bx + c = f(x)$. Пишется так:

Пример встроенной в строку формулы $a x^2 + b x + c = f(x)$.

Центрированная формула без номера:
пишется так:

```

\[\begin{aligned}
d_{\text{B}} &= \\
d_{*} \sqrt{\nu_{\text{B}}} &= \\
53.1 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{8.2} &= 1.532 \text{ м}.
\end{aligned}\]

```

отображается так:

$$d_{\text{B}} = d_{*} \sqrt{\nu_{\text{B}}} = 53.1 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{8.2} = 1.532 \text{ м.}$$

Тоже формула без номера:

```
\begin{equation*}
x_{*} =
\cfrac{D_{\text{к}} - d_{*}}{2 \tan \alpha} =
\cfrac{1.9 d_{*} - d_{*}}{2 \tan \alpha} =
\cfrac{0.9 \cdot 53.1 \cdot 10^{-2}}{2} =
0.248 \text{ м}.
\end{equation*}
```

$$x_* = \frac{D_{\text{к}} - d_*}{2 \tan \alpha} = \frac{1.9d_* - d_*}{2 \tan \alpha} = \frac{0.9 \cdot 53.1 \cdot 10^{-2}}{2} = 0.248 \text{ м}.$$

Не забывайте, что формулы — это обычные члены предложения, поэтому на них распространяются все известные вам правила пунктуации.

Формула с номером и *меткой* (*label*) для ссылки на неё: записывается так:

```
\begin{equation}
d(x) = \begin{cases}
D_{\text{к}} - (D_{\text{к}} - d_{*}) \cfrac{x}{x_{*}}, & \& 0 < x \leq x_{*}, \\
d_{*} + (d_{\text{в}} - d_{*}) \cfrac{x - x_{*}}{x_{\text{в}} - x_{*}}, & \& x > x_{*}.
\end{cases}
\end{equation}
\label{eq:diameter}
\end{equation}
```

а отображается так:

$$d(x) = \begin{cases} D_{\text{к}} - (D_{\text{к}} - d_{*}) \frac{x}{x_{*}}, & 0 < x \leq x_{*}, \\ d_{*} + (d_{\text{в}} - d_{*}) \frac{x - x_{*}}{x_{\text{в}} - x_{*}}, & x > x_{*}. \end{cases} \quad (1)$$

Сослаться на уравнение можно с помощью команды `ref`. Например, строка в `tex`-файле

В уравнении (`\ref{eq:diameter}`) происходят странности...

отобразится в «В уравнении (1) происходят странности...». То есть ссылаемся с помощью всё той же команды `ref`.

Осваиваем рисунки

Рассмотрим только вставку нумерованного и именованного рисунка, поскольку другие случаи в технических отчётах редки.

Чтобы вставить рисунок с подписью нужно сделать следующее:

```
\begin{figure}[h]
  \centering
  \includegraphics[width=0.4\textwidth]{fig_example.png}
  % Подпись
  \caption{Некоторый график}
  % Метка для ссылки на рисунок
  \label{fig:some_plot}
\end{figure}
```

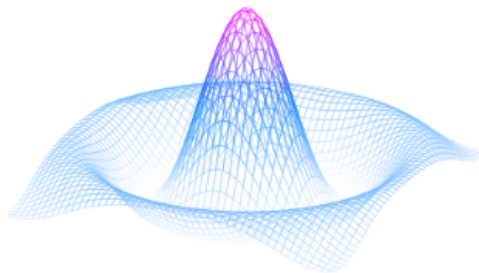


Рис. 1. Некоторый график

Здесь важно помнить, что в преамбуле у нас есть фраза

```
\graphicspath{{\subfix{../images/}}}
```

задающая папку, в которой хранятся картинки. Поэтому мы можем указывать в `\includegraphics` только имя файла.

Сослаться всё так же просто. Вот пример:

На рисунке~\ref{fig:some_plot} изображена функция „сомбреро”.

Отображается как: «На рисунке 1 изображена функция „сомбреро”.»

Помните о том, что перекрёстные ссылки требуют двух компиляций.

И не забывайте про неразрывные пробелы. Номера рисунков, таблиц и формул не должны стоять в начале строки без упоминания перед ними, что именно означает цифра.

Результаты решения

В результате проделанной работы выполнен расчет геометрических, газодинамических и силовых характеристик сопла Лавалья. Результаты расчетов геометрических характеристик сопла:

1. Диаметр выходного сечения $d_{\text{в}} = 1.532$ м,
2. Длина конфузора $x_* = 0.248$ м,
3. Длина сопла $x_{\text{в}} = 2.689$ м.

Таким образом, оформить документ в L^AT_EXлишь дело опыта (как и в Word).

Приложение

Приложение содержит исходный код компьютерной программы решения домашнего задания. Программа написана на языке программирования Python 3.

```
1 import numpy as np
2
3
4 def some_function(a, b):
5     c = np.sqrt(a*b + 1)
6     return c/a + b
7
8
9 result = some_function(4, 7)
10 with open("some_file.txt", "w") as f:
11     f.write(f"Some_result:_{result}")
```