

Кафедра динамики и управления полётом летательных аппаратов



Дисциплина: Гидрогазоаэродинамика

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4
«ИСТЕЧЕНИЕ ГАЗА ИЗ СОСУДА КОНЕЧНОГО РАЗМЕРА»

Выполнил студент

Топольницкий А.А.

Группа

A183

Преподаватель

Горохова П.Д.

Подпись преподавателя

Дата

Защита		
--------	--	--

Санкт-Петербург

2020 г.

Цель работы – экспериментально определить величину давления в баллоне как функцию времени, рассчитать изменение основных параметров газа в сосуде и в отверстии, сравнить полученные данные с результатом теоретического расчёта.

Описание экспериментальной установки и приборов:

Баллон 1, имеющий объём V , наполняется сжатым воздухом из магистрали высокого давления через запорный вентиль 2. Начальное давление p_{00} устанавливается по манометру 3. В это время кран «мгновенного открытия» 4, через который происходит опорожнение сосуда, закрыт. Процесс опорожнения начинается в момент открытия крана 4. Количество истекающего воздуха лимитируется площадью F_a проходного сечения диафрагмы 5, установленной на выходе из баллона. Измерение давления в баллоне при истечении газа измеряется с помощью потенциометрического датчика 6. Сигналы датчика усиливаются усилителем 7 и подаются на шлейфный осциллограф 8, который позволяет записать на пленке изменение сигнала, пропорциональное давлению.

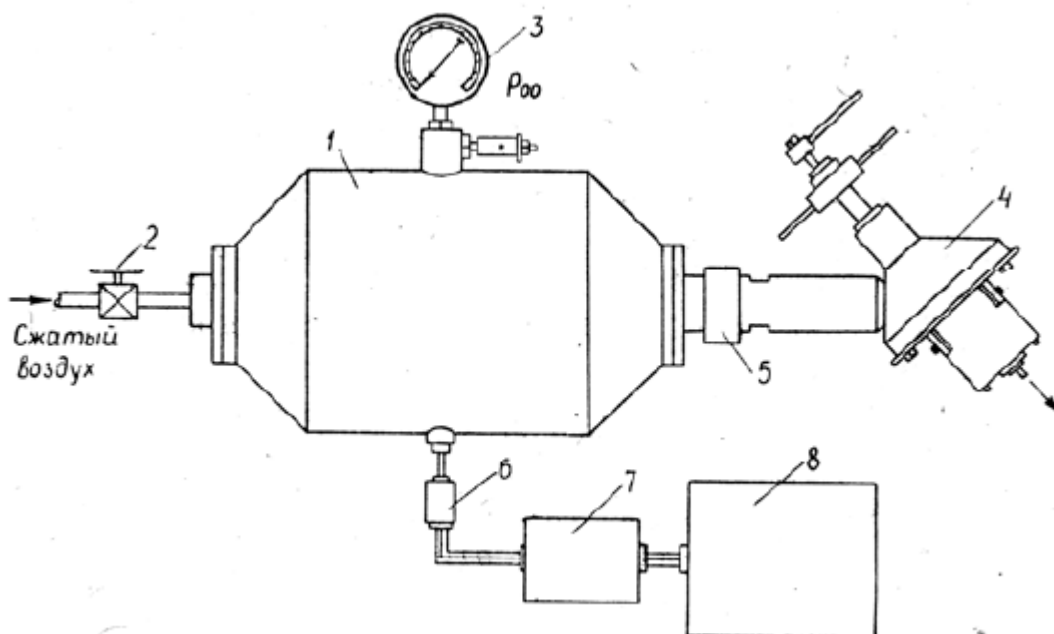


Рисунок 1. Схема установки

Для расчёта процесса опорожнения сосуда будем основываться на положениях так называемой «нульмерной» теории, согласно которой все

газодинамические параметры внутри сосуда усредняются по объёму и их считают одинаковыми в данный момент во всех точках сосуда. Поэтому давление, плотность, температура газа внутри сосуда являются функциями только времени. Предполагается, что параметры газового потока в выходном сечении а-а распределены равномерно. Для упрощения задачи будем полагать процесс истечения квазистационарным. Это означает, что нестационарный процесс истечения рассматривается как непрерывная последовательность стационарных состояний, т.е. в каждый момент времени считаются справедливыми соотношения, полученные для стационарного режима истечения (можно использовать уравнение Бернулли). Число Маха в отверстии может меняться от 0 до 1. Режим истечения зависит только от соотношения давлений в ОС и сосуда (сверхкритический, докритический, критический).

Исходные данные:

- $p_{00}=5$ ати;
- $T_{00}=293$ К;
- $V=9 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$;
- $R=287 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$;
- $\gamma=1.4$;
- $d_a=0.008 \text{ м}$;
- $B=0.22 \text{ (1/sec)}$
- $p_n=1 \text{ атм.}$

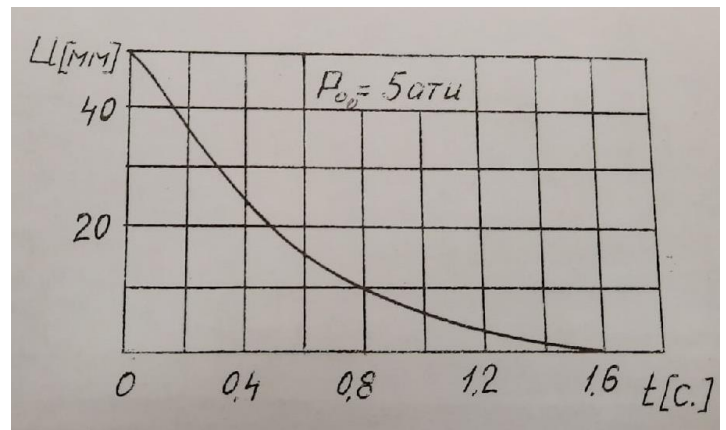


Рисунок 2. Исходные данные с осциллографа

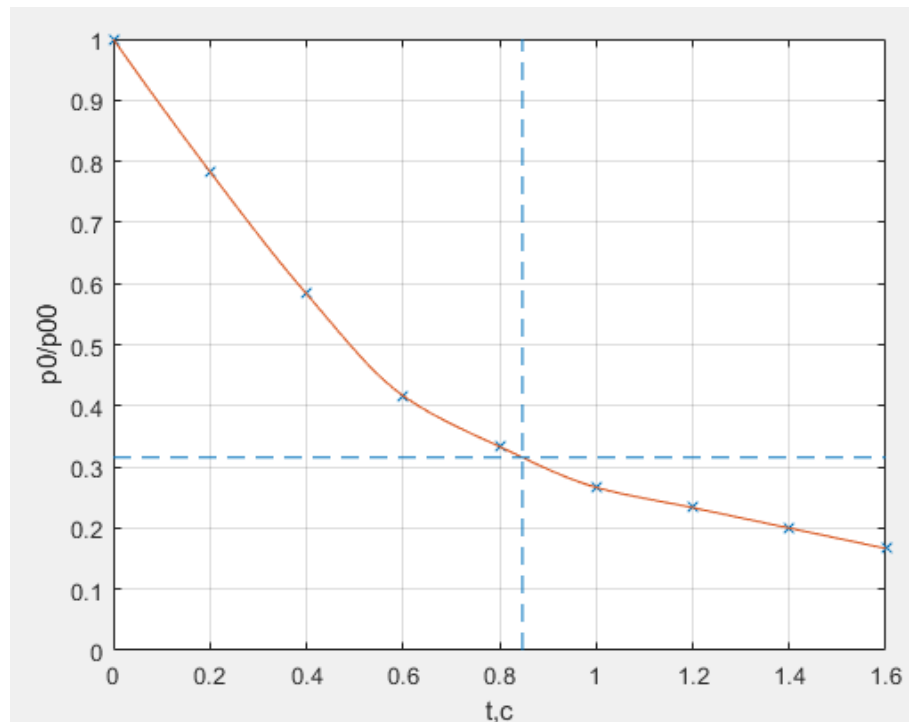
Необходимо определить масштаб осциллограммы: $\frac{50 \text{ (мм)}}{5 \text{ (ати)}} = 0.1 \frac{\text{мм}}{\text{ати}}$

Таблица 1. Исходные данные

t,с	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6
мм	50	37	25	15	10	6	4	2	0
ати	5	3.7	2.5	1.5	1.0	0.6	0.4	0.2	0
ата	6	4.7	3.5	2.5	2.0	1.6	1.4	1.2	1

Определение t_{kr} :

```
clc
clear all
%Необходимо определить  $t_{kr}$ 
y=1.4;
pn=1;
p0kr=pn*((y+1)/2)^(y/(y-1));
t=[0;0.2;0.4;0.6;0.8;1.0;1.2;1.4;1.6];
p=[6;4.7;3.5;2.5;2.0;1.6;1.4;1.2;1];
p00=6;
P=p/p00;
h=0:0.01:1.6;
gr1=pchip(t,P,h);
figure(1)
plot(t,P,'x',h,gr1)
grid on
xlabel('t,c');
ylabel('p0/p00');
hold on
pkr=p0kr/p00;
pkrline=line([0 1.6], [pkr
pkr], 'LineStyle','--');
tkr=0.8476;
tkrline=line([tkr tkr], [0
1], 'LineStyle','--');
```



По графику находим, что $t_{kr} = 0.85$ секунды, а $\frac{p_{0kr}}{p_{00}} = 0.3155$. Слева от вертикальной прямой – сверхкритический режим, справа – докритический.

Сверхкритический режим:

```
%Сверхкритический режим
tsverh=[0;0.2;0.4;0.6;0.8];
for i=1:1:5
    pteor(i)=(1+B*tsverh(i)).^(-2*y/(y-1));%теоретическое изменение давлений
    p0/p00
    ro(i)=pteor(i).^(1/y);%теоретическое изменение плотности ro0/ro00
    T(i)=pteor(i)^((y-1)/y);%теоретическое изменение температуры T0/T00
```

```

a(i)=pteor(i)^((y-1)/2*y);%теоретическое изменение скорости звука a0/a00
end
for i=1:1:5
    p0(i)=pteor(i)*p00*10^5;
    ro00=(p00*10^5)/(R*T00);
    ro0(i)=ro00*ro(i);
    T0(i)=T(i)*T00;
    a00=sqrt(y*R*T00);
    a0(i)=a(i)*a00;
end
for i=1:1:5
    pa(i)=p0(i)*(1+((y-1)/2)*M)^(-y/(y-1));
    roa(i)=ro0(i)*(1+((y-1)/2)*M)^(-1/(y-1));
    Ta(i)=T0(i)*(1+((y-1)/2)*M)^(-1);
    aa(i)=a0(i)*(1+((y-1)/2)*M)^(-1/2);
    Va(i)=M*aa(i);
    Q(i)=pa(i)*roa(i)*Fa;
end
tsverh=[0;0.2;0.4;0.6;0.8];
p0sverh=[600000;443860;332470;251900;192890];
ro0sverh=[7.1351;5.7531;4.6801;3.8386;3.1722];
T0sverh=[293;268.8;247.5;228.7;211.9];
a0sverh=[343;318;310;296;282];
Vasverh=[313;290;283;270;258];
Qsverh=[0.0720668;0.0459862;0.0391932;0.0292771;0.0213002]
T1=table(tsverh,p0sverh,ro0sverh,T0sverh,a0sverh,Vasverh,Qsverh);
%Dокритический режим
tdokr=[1.2;1.4;1.6];
C=y*sqrt((2*y*R*T00)/(y-1))*(Fa/V)*(pn/p00)^((y-1)/2*y);
for i=1:1:3
    J=(tdokr(i)-tkr)*C;
end
%по таблице определяем значения
p0d(1)=1.35*pn*10^5;
p0d(2)=1.15*pn*10^5;
p0d(3)=1.05*pn*10^5;
p0d=[135000;115000;105000];
for i=1:1:3
    rodokr(i)=(p0d(i)/(p00*10^5))^(1/y)*ro00;

```

```

T0dokr(i)=(p0d(i)/(p00*10^5))^(y-1)/y)*T00;
a0dokr(i)=(p0d(i)/(p00*10^5))^((y-1)/(2*y))*a00;
end
%с помощью Mathcad найдём значения для M
M1=0.669;
M2=0.451;
M3=0.265;
%Найдём значения для параметров в отверстии
roadokr=p00*(pn/p00)^(1/y);
Tadokr=(pn*10^5)/(R*roadokr);
aadokr=sqrt(y*R*Tadokr);
Vadokr(1)=M1*aadokr;
Vadokr(2)=M2*aadokr;
Vadokr(3)=M3*aadokr;
Qdokr(1)=roadokr*Vadokr(1)*Fa;
Qdokr(2)=roadokr*Vadokr(2)*Fa;
Qdokr(3)=roadokr*Vadokr(3)*Fa;
Qdokr=[0.0163;0.0110;0.0064];
Vadokr=[194;131;77];
Mdokr=[0.669;0.451;0.265];
rodokr=[2.4585;2.1925;2.0545];
T0dokr=[191;183;178];
a0dokr=[277;270;267];
T2=table(tdokr,p0d,rodokr,T0dokr,a0dokr,Vadokr,Qdokr)

p0 := 1.35
pn := 1
γ := 1.4

```

$$\left(\frac{\gamma - 1}{2} \cdot M^2 + 1 \right)^{\frac{-\gamma}{\gamma - 1}} - \frac{pn}{p_0} \text{ solve, } M \rightarrow \begin{pmatrix} -0.66905738923796752268 \\ 0.66905738923796752268 \\ 0.99016298234728171574 - 2.6819090552288077539i \\ -0.99016298234728171574 - 2.6819090552288077539i \\ 0.99016298234728171574 + 2.6819090552288077539i \\ -0.99016298234728171574 + 2.6819090552288077539i \end{pmatrix}$$

Рисунок 4. Вычисление одного из значений числа Маха в Mathcad

Таблица 3. Сверхкритический режим

tsverh	p0sverh	ro0sverh	T0sverh	a0sverh	Vasverh	Qsverh
0	6e+05	7.1351	293	343	313	0.072067
0.2	4.4386e+05	5.7531	268.8	318	290	0.045986
0.4	3.3247e+05	4.6801	247.5	310	283	0.039193
0.6	2.519e+05	3.8386	228.7	296	270	0.029277
0.8	1.9289e+05	3.1722	211.9	282	258	0.0213

Таблица 2. Докритический режим

tdokr	p0d	rodokr	T0dokr	a0dokr	Vadokr	Qdokr
1.2	1.35e+05	2.4585	191	277	194	0.0163
1.4	1.15e+05	2.1925	183	270	131	0.011
1.6	1.05e+05	2.0545	178	267	77	0.0064

Таблица 4. Критический режим

tkr	pkр
0.85	0.3155

%Построение графиков

```
t=[0;0.2;0.4;0.6;0.8;1.0;1.2;1.4;1.6];
p=[6;4.7;3.5;2.5;2.0;1.6;1.4;1.2;1];
tteor=[0;0.2;0.4;0.6;0.8;1.2;1.4;1.6];
ptteor=[600000;443860;332470;251900;192890;135000;11500
0;105000];
p00=6;
P=p/p00;
Pteor=ptteor/(p00*10^5);
h=0:0.01:1.6;
gr1=pchip(t,P,h);
gr2=pchip(tteor,Pteor,h);
figure(2)
plot(t,P,'x',h,gr1)
grid on
xlabel('t,c');
ylabel('p0/p00');
hold on
plot(tteor,Pteor,'o',h,gr2,'--')
```

```

legend(' ','Экспериментальное',' ','Теоретическое')
hold off

ro=[7.1351;5.7531;4.6801;3.8386;3.1722;2.4585;2.1925;2.
0545];
gr3=pchip(tteor,ro,h);
figure(3)
plot(tteor,ro,'x',h,gr3);
grid on
xlabel('t,c');
ylabel('ro, кг/м^3');

T=[293;268.8;247.5;228.7;211.9;191;183;178];gr3=pchip(t
teor,ro,h);
gr4=pchip(tteor,T,h);
figure(4)
plot(tteor,T,'x',h,gr4);
grid on
xlabel('t,c');
ylabel('T, K');

a=[343;318;310;296;282;277;270;267];
gr5=pchip(tteor,a,h);
figure(5)
plot(tteor,a,'x',h,gr5);
grid on
xlabel('t,c');
ylabel('a, м/с');

Va=[313;290;283;270;258;194;131;77];
gr6=pchip(tteor,Va,h);
figure(6)
plot(tteor,Va,'x',h,gr6);
grid on
xlabel('t,c');
ylabel('V, м/с');

Q=[0.0720668;0.0459862;0.0391932;0.0292771;0.0213002;0.
0163;0.0110;0.0064];
gr7=pchip(tteor,Q,h);

```



```

figure(7)
plot(tteor,Q,'x',h,gr7);
grid on
xlabel('t,c');
ylabel('Q, kg/c');

M=[1;1;1;1;1;0.669;0.451;0.265];
gr8=pchip(tteor,M,h);
figure(8)
plot(tteor,M,'x',h,gr8);
grid on
xlabel('t,c');
ylabel('M');

```

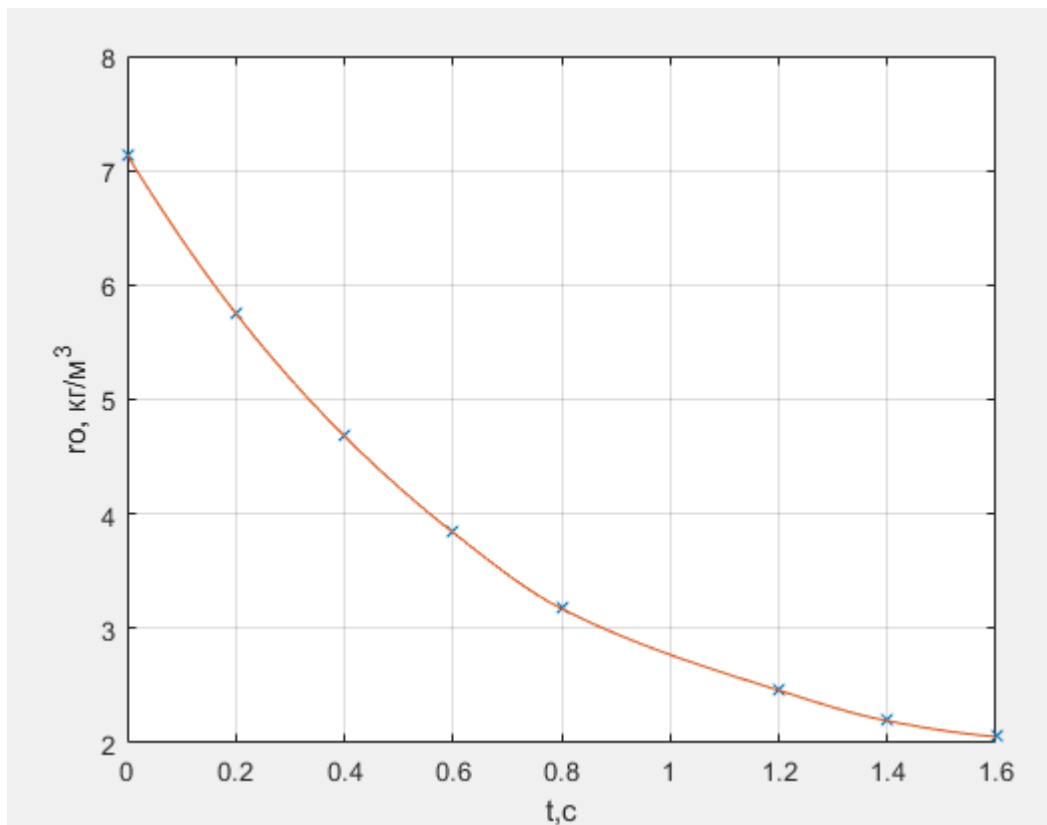


Рисунок 5. Зависимость плотности в сосуде от времени

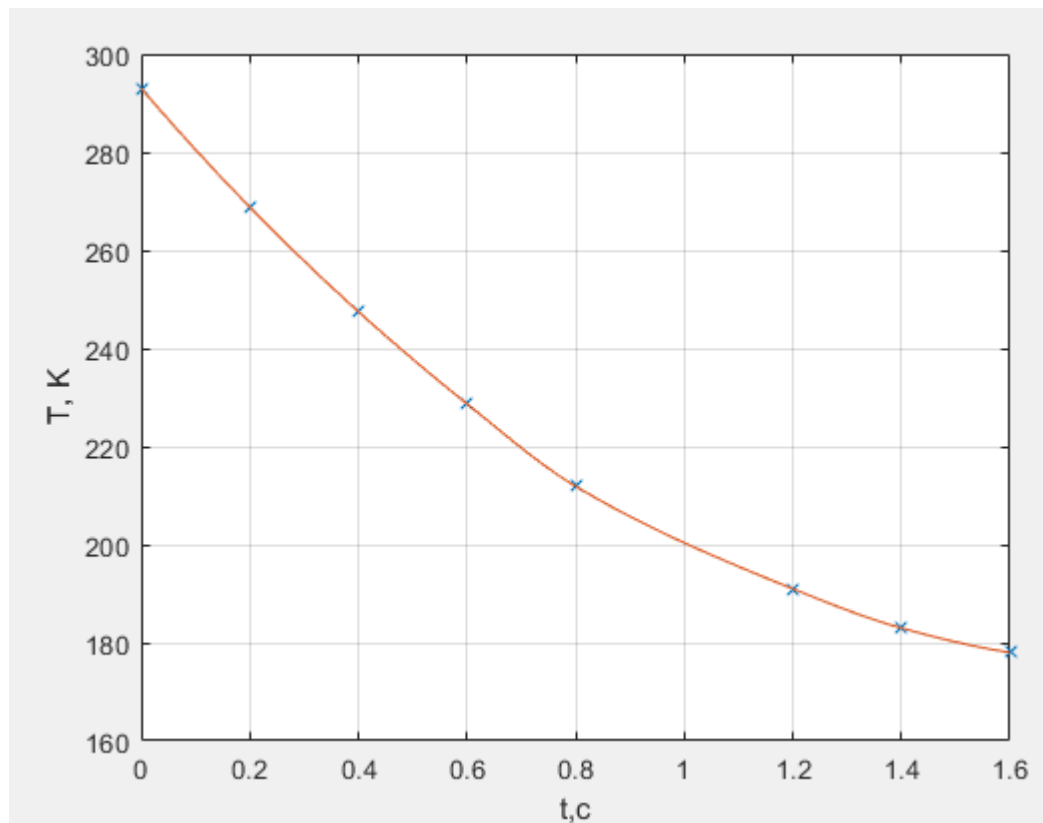


Рисунок 6. Зависимость температуры от времени

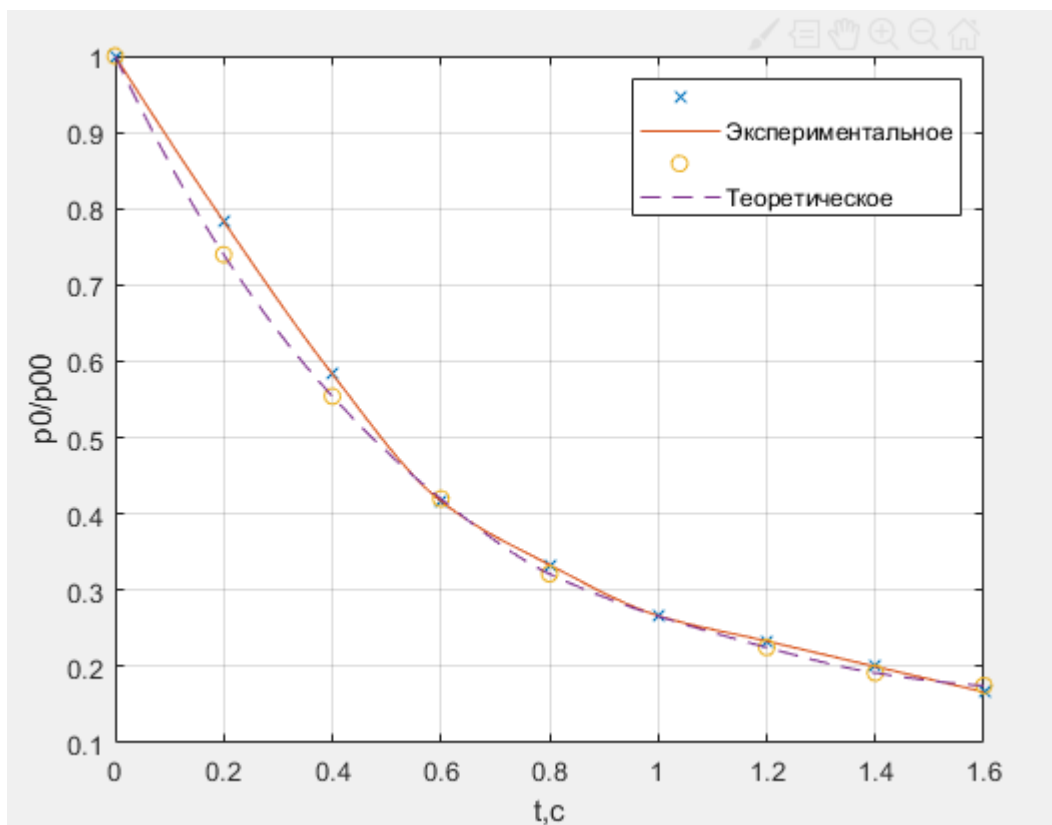


Рисунок 7. Сравнением экспериментального и теоретического ρ_0/ρ_{00}

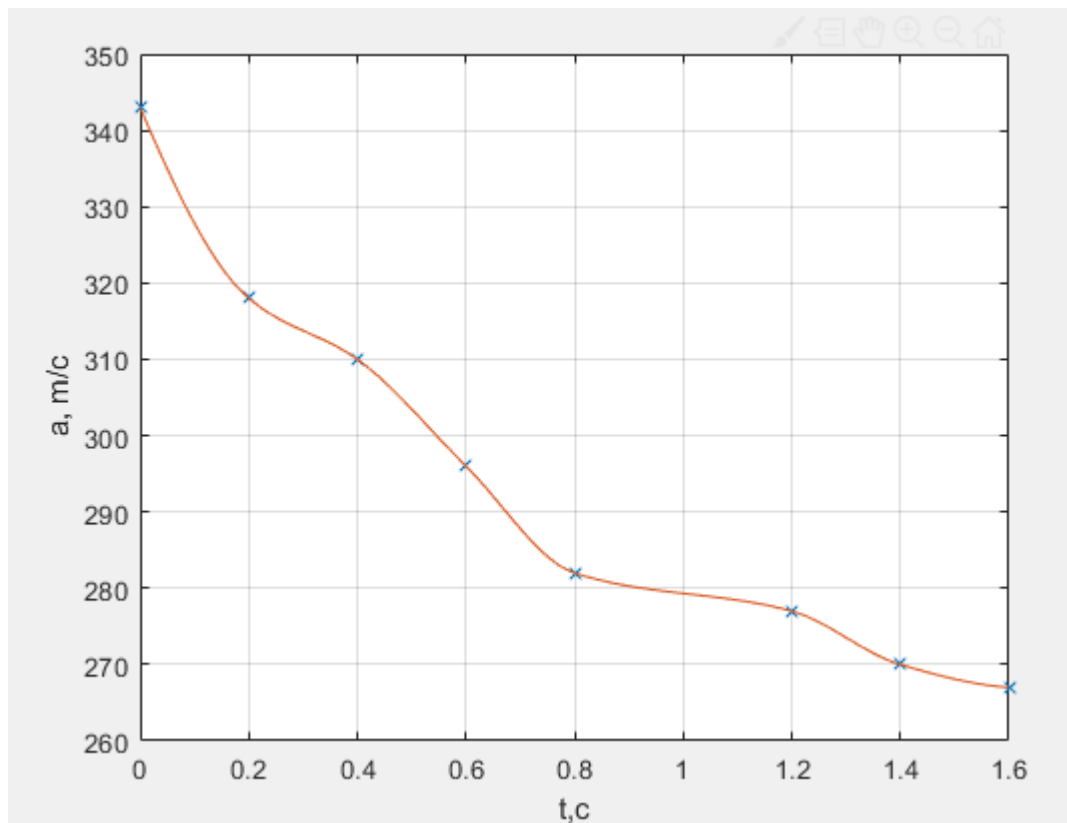


Рисунок 8. Зависимость скорости звука в сосуде от времени

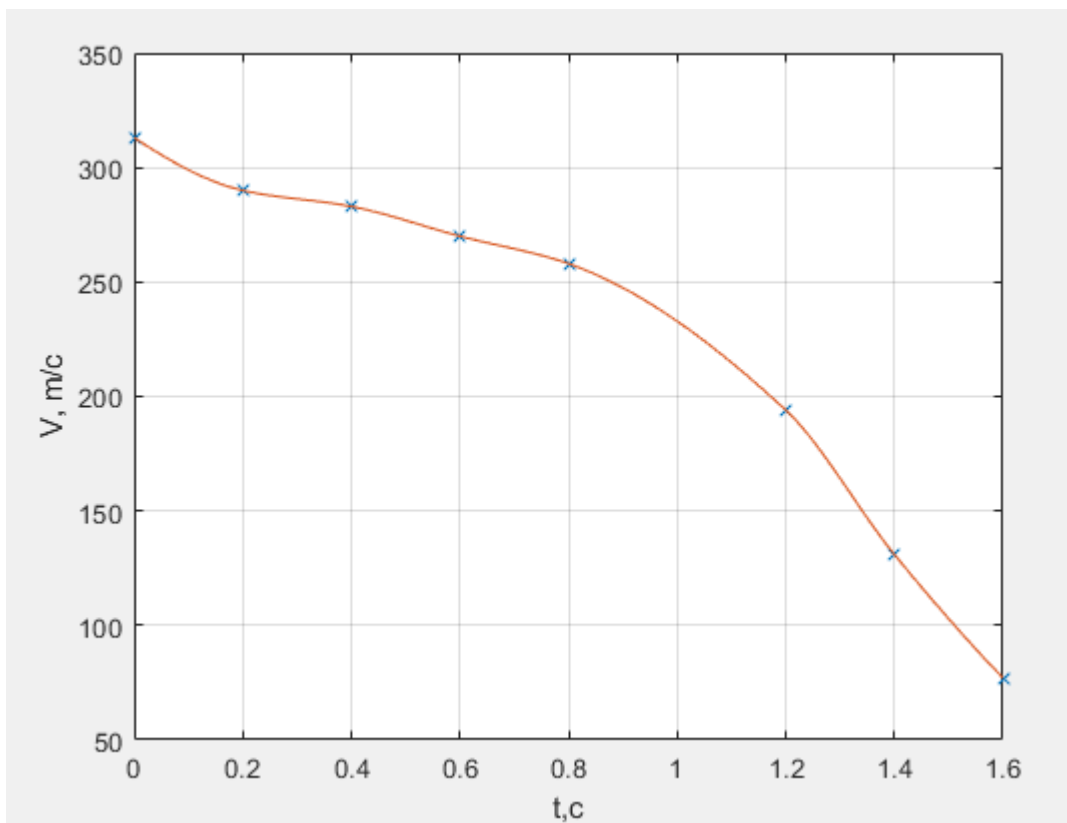


Рисунок 9. Зависимость скорости истечения от времени

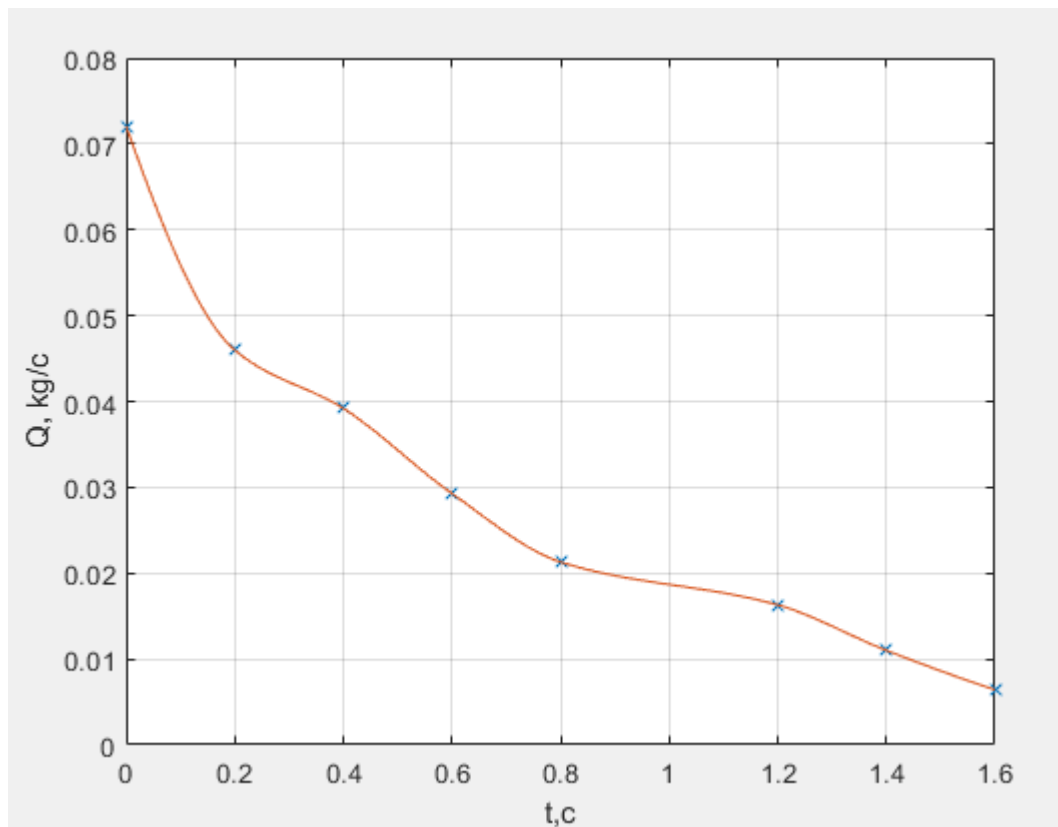


Рисунок 10. Зависимость расхода от времени

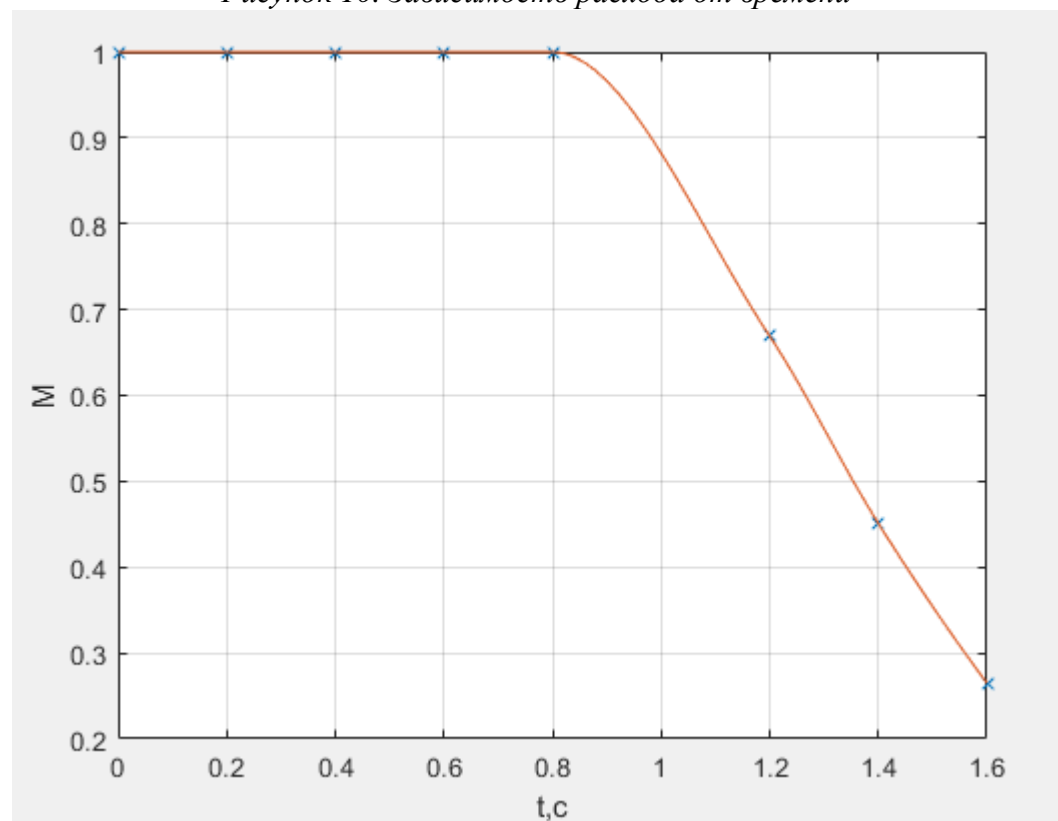


Рисунок 11. Зависимость числа Маха от времени

Вывод: в ходе лабораторной работы была экспериментально определена величина давления в баллоне как функция времени, были рассчитаны изменения основных параметров газа в сосуде и в отверстии. Полученные

результаты для давления были сравнены с теоретическими, расхождение практически отсутствует.