

Всероссийский конкурс учебно-исследовательских работ старшекласников  
по политехническим, естественнонаучным, математическим дисциплинам  
для учащихся 9-11 классов

физика

**Помпаж**

Куклина Алина Александровна,  
11 класс, МБОУ «Лицей №1» г. Перми,

Любимова Нина Юрьевна,  
Старший преподаватель кафедры  
Прикладной физики ПНИПУ

Пермь 2016

## Содержание

Введение	2
Цели, задачи	3
Теоретическая часть	4
Экспериментальная часть	6
Заключение	8
Приложения	9
Список литературы	12

## **Введение**

В наше время достаточно распространены и востребованы практически во всех отраслях промышленности компрессоры. Сегодня без них невозможна работа целых промышленных комплексов. Но компрессоры, как и любые устройства, подвержены поломкам. И помпаж – одна из причин этого.

Помпаж – это явление, возникающие в результате потери устойчивости течения воздуха в компрессоре. Особенно опасно это явление в авиации. Помпаж может возникать вследствие мощных срывов потоков воздуха с передних кромок лопаток рабочего колеса и лопаточного диффузора или же срыва потока с лопаток рабочего колеса и спрямляющего аппарата.

Существуют различные противопомпажные устройства. При опасности возникновения помпажа открывается клапан, через который часть воздуха выбрасывается в атмосферу, и давление за компрессором снижается.

В отличие от большинства других, в данной работе была создана несложная модель и с ее помощью изучено явление помпажа. В итоге, после многочисленных экспериментов, были выявлены некоторые факторы и степень их влияния на период возникновения одного пузырька.

### **Цель**

- Использование пластмассового сосуда, как модель для изучения «помпажа»

### **Задачи**

- Провести эксперимент
- Заполнить таблицу результатов
- Построить графики результатов
- По графикам сделать выводы о зависимости периода от прочих факторов
- Посчитать погрешности измерений

## Теоретическая часть

Помпаж — неустойчивая работа компрессора, характеризуемая резкими колебаниями напора и расхода перекачиваемой жидкости или газа. При помпаже появляются сильные пульсации потока, проходящего через компрессор, возникают хлопки в воздухозаборнике, дымление выхлопа двигателя, резкое падение тяги и мощная вибрация, которая может вызвать разрушение компрессора[1].

При помпаже компрессор не может создавать требуемый напор, давление за ним на некоторое время остаётся высоким. В результате происходит обратный проброс воздуха. Давление за компрессором уменьшается, он снова развивает напор, но при отсутствии расхода напор резко падает, ситуация повторяется.

Причины возникновения помпажа:

- вывод самолета на закритические углы атаки
- разрушение и отрыв лопаток рабочего колеса
- попадание в двигатель постороннего предмета
- попадание в воздухозаборник пороховых газов при стрельбе из пушек или пусках ракет на боевых самолетах
- попадание в воздухозаборник продольного вихря.
- ошибками, допущенными при проектировании или сбоями в работе системы управления двигателя и управляемого воздухозаборника
- сильный боковой ветер при запуске двигателя на аэродроме
- низкое давление окружающего воздуха
- пропускная способность диффузора значительно превышает потребности двигателя в расходе воздуха.

Основным способом борьбы с помпажом является применение нескольких соосных валов в двигателе, вращающихся независимо друг от друга с различными скоростями вращения. Каждый из валов несет часть компрессора и часть турбины. Первая часть компрессора соединяется с последней частью турбины. Современные двигатели имеют обычно два или три вала. Валы более высокого давления вращаются с более высокими скоростями, сообщая воздуху высокого давления требуемую кинетическую энергию[3].

В работе проводились подсчеты погрешностей по методу Стьюдента. Согласно которому, средняя квадратичная погрешность результата измерений среднего арифметического определяется формулой:

$$\frac{\quad}{\quad}$$

Где

$N$  – Количество измерений

$t_p$  – Коэффициент Стьюдента

– Среднее арифметическое периода, находящееся по формуле:

$$\frac{\quad}{\quad}$$

$t_p$  можно найти в таблице Стьюдента (Приложение, рис. 3), где

$N$  – Количество измерений

$p$  – Доверительная вероятность

Доверительный интервал – интервал, в котором может оказаться истинное значение измеряемой величины.

Доверительная вероятность – вероятность, с которой истинное значение может оказаться в доверительном интервале.

## Экспериментальная часть

### Оборудование:

- Бутылка с жидкостью
- Шкала
- Трубочки разных диаметров
- Секундомер

### Порядок измерений:

Для наблюдения явления «помпажа» была использована несложная модель. Она состоит из бутылки со шкалой для измерения и трубочки, вставленной в отверстие, проделанное в крышке (Приложение, рис. 1).

При переворачивании бутылки с жидкостью дном вверх засекалось время, за которое определенное количество пузырьков воздуха попадет в бутылку. Затем вычислялся период 1 пузырька. Изменяя условия эксперимента, выявилась зависимость периода от внешних факторов.

#### 1. Изменение диаметра трубочек.

- $d_1=0,001\text{м}$
- $d_2=0,005\text{м}$
- $d_3=0,011\text{м}$  (Приложение, рис. 2)

Прочие условия равны ( $V=V_0+2,2*10^{-4}\text{ м}^3$ ,  $\rho=1000\text{ кг/м}^3$  (вода),  $L=0,05\text{м}$ ).

Было проведено три опыта с тремя трубочками разных диаметров, результаты которых занесены в Таблицу 1. На основе полученных данных был построен График 1. Из данного опыта видно, что через трубочку, с диаметром  $d_1$ , вода не течет. Причиной этого является поверхностное натяжение.

Вывод: При увеличении диаметра трубочки период колебаний уменьшается.

#### 2. Изменение длины наружной части трубочки.

- $L_1=0,02\text{м}$
- $L_2=0,05\text{м}$
- $L_3=0,08\text{м}$

Прочие условия равны ( $V=V_0+1,5*10^{-4}\text{ м}^3$ ,  $\rho=1000\text{ кг/м}^3$  (вода),  $d=0,005\text{м}$ ).

Результаты можно увидеть в Таблице 2. На основе полученных данных был построен График 2.

Вывод: При увеличении длины наружной части трубочки период колебаний уменьшается.

### 3. Изменение объема жидкости.

- $V_1 = V_0 \text{ м}^3$
- $V_2 = V_0 + 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$
- $V_3 = V_0 + 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$
- $V_4 = V_0 + 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$

Прочие условия равны ( $L=0,05\text{м}$ ,  $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$  (вода),  $d=0,005\text{м}$ ).

Результаты можно увидеть в Таблице 3. На основе полученных данных был построен График 3. Из данного опыта можно увидеть, что при объеме большем, чем  $V_0 + 4 \cdot 10^{-4}$  или меньшем, чем  $V_0$  жидкость не вытекает из бутылки. Это происходит из-за того, что в эти моменты давление внутри и снаружи равны.

Вывод: При увеличении объема период колебаний уменьшается.

### 4. Изменение плотности жидкости.

- $\rho_1 = 1000 \text{ кг/м}^3$  ( $\text{H}_2\text{O}$ )
- $\rho_2 = 1020 \text{ кг/м}^3$  ( $\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$ )

Прочие условия равны ( $L=0,05\text{м}$ ,  $V = V_0 + 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ ,  $d=0,005\text{м}$ ).

Результаты можно увидеть в Таблице 4. На основе полученных данных был построен График 4.

Вывод: При увеличении плотности период колебаний увеличивается.

### 5. Подсчет погрешностей измерений.

- Первый эксперимент с изменением диаметров трубочек, опыт второй ( $d_2=0,005\text{м}$ ):

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Результаты измерений и некоторые подсчеты можно увидеть в Таблице 5.

- Второй эксперимент с изменением длины наружной части трубочки, опыт третий ( $L_3=0,08\text{м}$ ):

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Результаты измерений и некоторые подсчеты можно увидеть в Таблице 6.



## **Заключение**

Помпаж – это весьма опасное явление в авиации, из-за которого может произойти катастрофа. На сегодняшний день выяснены все возможные причины возникновения этой проблемы и найдены способы ее решения.

В данной работе было описано создание модели для исследования этого явления. Был проведен ряд экспериментов и, исходя из полученных данных, выявлены следующие зависимости:

- При увеличении диаметра трубочки период уменьшается
- При увеличении длины наружной части трубочки период уменьшается
- При увеличении объема период уменьшается
- При увеличении плотности период увеличивается

Безусловно, существуют и другие факторы, влияющие на период, выявление и доказательство которых представляет интерес для дальнейших исследований.

## Приложение



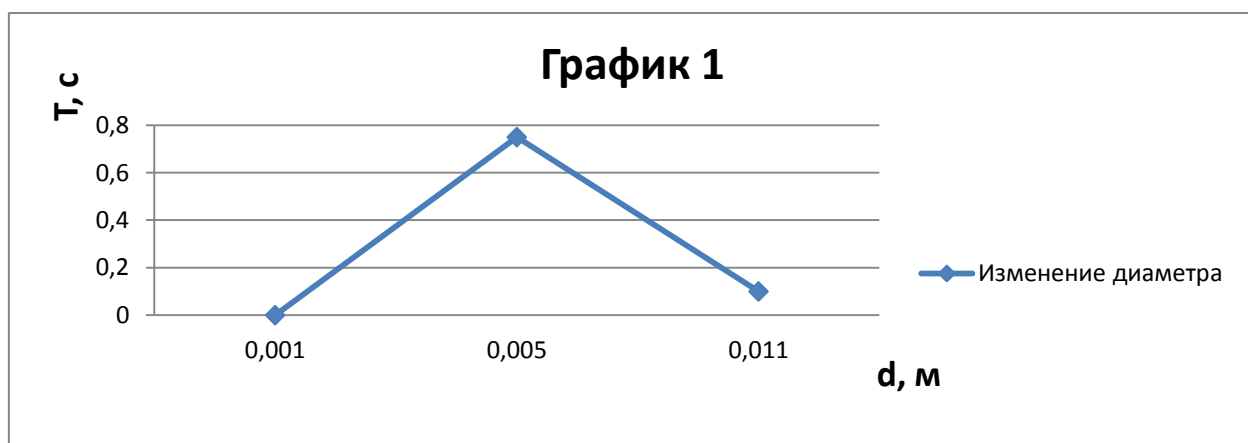
Рис. 1



Рис. 2

Число наблюдений	Значение коэффициента Стьюдента при доверительной вероятности $P$					Число наблюдений	Значение коэффициента Стьюдента при доверительной вероятности $P$				
	0,50	0,90	0,95	0,98	0,99		0,50	0,90	0,95	0,98	0,99
2	1,00	6,31	12,71	31,82	63,66	10	0,70	1,84	2,26	2,76	3,25
3	0,82	2,92	4,30	6,96	9,92	15	0,69	1,76	2,14	2,60	2,98
4	0,77	2,35	3,18	4,54	5,84	20	0,69	1,73	2,09	2,53	2,86
5	0,74	2,13	2,78	3,75	4,60	30	0,68	1,70	2,04	2,46	2,76
6	0,73	2,01	2,57	3,65	4,03	60	0,68	1,67	2,00	2,39	2,66
7	0,72	1,94	2,45	3,14	3,71	120	0,68	1,66	1,98	2,36	2,62
8	0,71	1,90	2,36	2,97	3,50	$\infty$	0,67	1,65	1,96	2,33	2,58
9	0,71	1,86	2,31	2,90	3,36						

Рис. 3



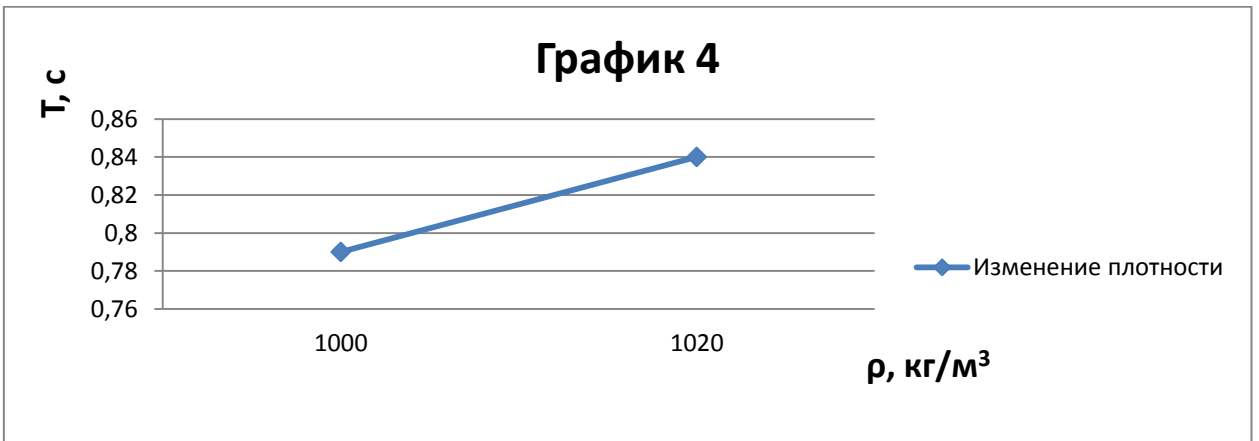
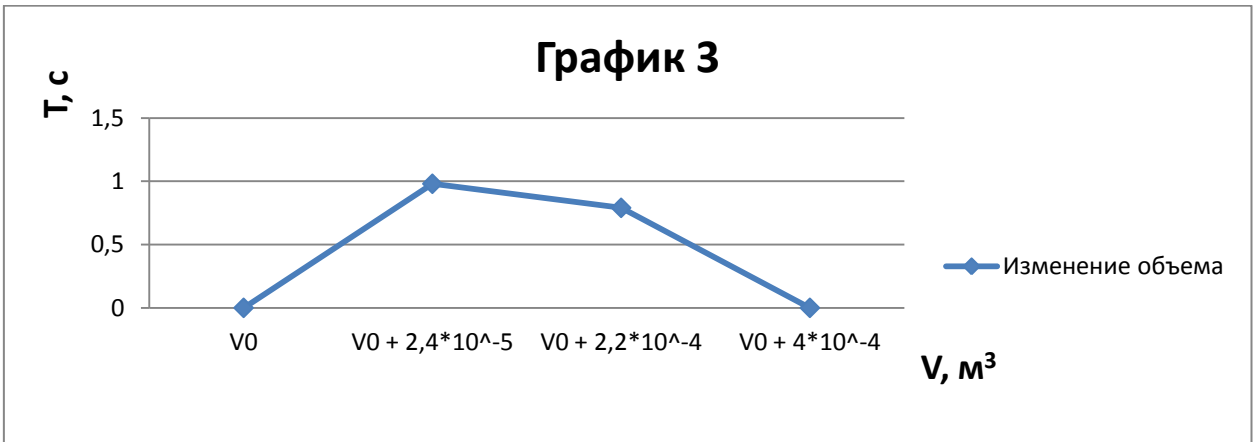
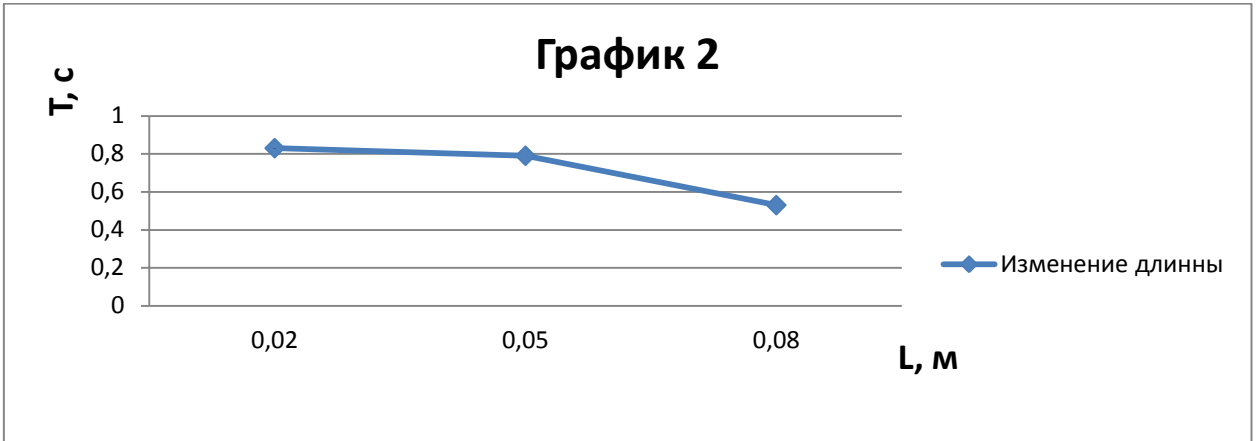


Таблица 1			
d (м)	0,001	0,005	0,011
t (с)	–	7,5	1,0
N (штук)	–	10	10
T (с)	–	0,75	0,1

Таблица 2			
L (м)	0,02	0,05	0,08
t (с)	8,3	7,9	5,3
N (штук)	10	10	10
T (с)	0,83	0,79	0,53

Таблица 3				
V (м <sup>3</sup> )	V <sub>0</sub>	V <sub>0</sub> + 2,4*10 <sup>-5</sup>	V <sub>0</sub> + 2,2*10 <sup>-4</sup>	V <sub>0</sub> + 4*10 <sup>-4</sup>
t (с)	–	4,9	7,9	–
N (штук)	–	5	10	–
T (с)	–	0,98	0,79	–

Таблица 4		
ρ (кг/м <sup>3</sup> )	1000 (H <sub>2</sub> O)	1020 (H <sub>2</sub> O+NaCl)
t (с)	7,9	8,4
N (штук)	10	10
T (с)	0,79	0,84

Таблица 5			
i	T <sub>i</sub>	<T>-T <sub>i</sub>	(<T>-T <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>
1	0,77	0,02	0,0004
2	0,78	0,03	0,0009
3	0,75	0	0
4	0,72	0,03	0,0009
5	0,77	0,02	0,0004
6	0,73	0,02	0,0004
7	0,74	0,01	0,0001

Таблица 6			
i	T <sub>i</sub>	<T>-T <sub>i</sub>	(<T>-T <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>
1	0,54	0,01	0,0001
2	0,50	0,03	0,0009
3	0,52	0,01	0,0001
4	0,55	0,02	0,0004
5	0,55	0,02	0,0004
6	0,56	0,03	0,0009
7	0,51	0,02	0,0004

### **Список литературы**

1. Энциклопедия «Авиация» (2008). Главный редактор: Свищев Г. Г.
2. Большая Энциклопедия Нефти Газа
3. <https://ru.wikipedia.org>