

Краевая научно-практическая конференция  
учебно-исследовательских работ учащихся 6-11 классов  
«Прикладные и фундаментальные вопросы математики»

Прикладные вопросы математики

**Помпаж**

Куклина Алина Александровна,  
11 кл., МБОУ «Лицей №1», г. Пермь,  
Любимова Нина Юрьевна,  
старший преподаватель ПНИПУ.

Пермь. 2015.

## Содержание

Введение	2
Цели, задачи	3
Теоретическая часть	4
Экспериментальная часть	5
Заключение	7
Приложения	8
Список литературы	11

## **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, возникающее 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 процессе данной работы была создана модель для изучения этого явления. И выявлено, что и как влияет 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

## Теоретическая часть

Помпаж — неустойчивая работа компрессора, характеризующаяся 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
- сильным боковым ветром при запуске двигателя на аэродроме
- низким давлением 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].

## 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 отверстием в крышке и трубочки, вставленной в это отверстие (Приложения, 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.

- $d_1=0,001\text{м}$
- $d_2=0,005\text{м}$
- $d_3=0,011\text{м}$  (Приложения, 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 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 уменьшается.

### 3. Изменение объема жидкости.

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

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  $V_0 + 4*10^{-4}$  или меньшем, чем  $V_0$  жидкость не вытекает из бутылки.

Вывод: При увеличении объема период 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 ( $L=0,05\text{м}$ ,  $V= V_0+1,5*10^{-4} \text{ м}^3$ ,  $d=0,005\text{м}$ ).

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

Вывод: При увеличении плотности период увеличивается.

## 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.

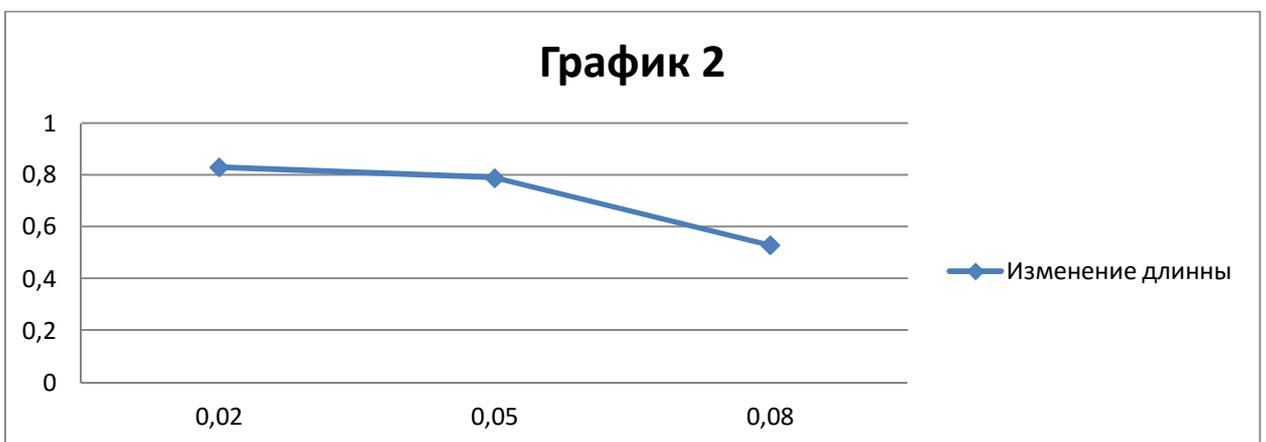
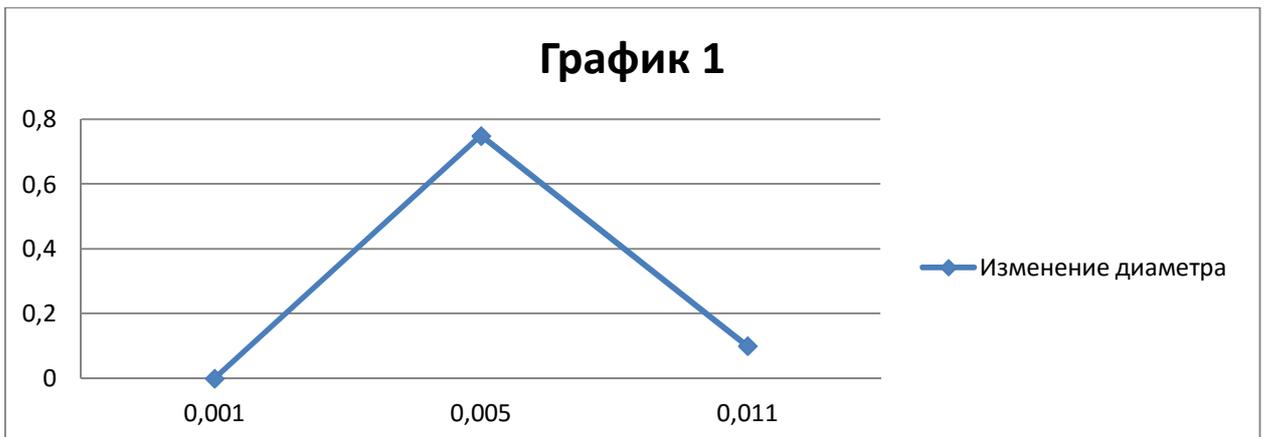
## Приложения



Рис. 1



Рис. 2



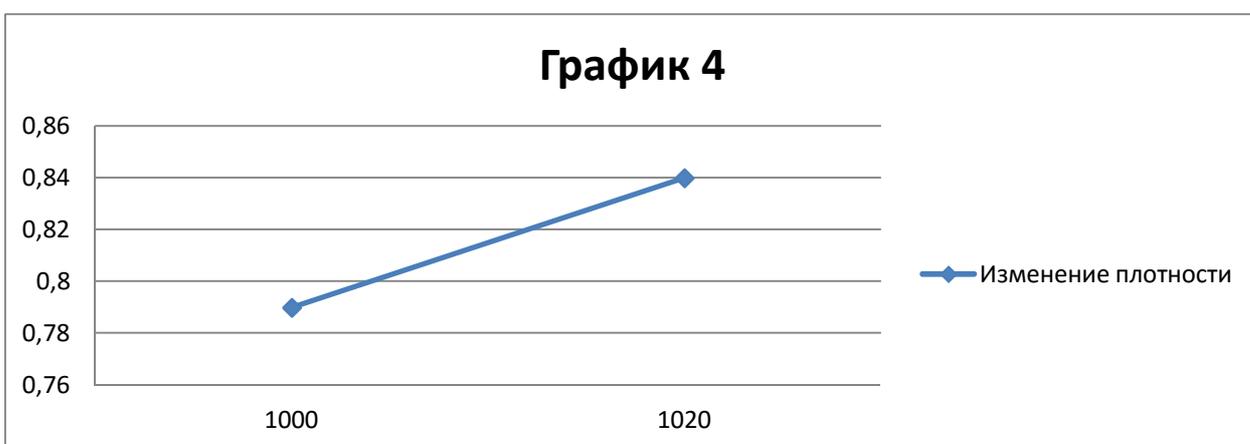
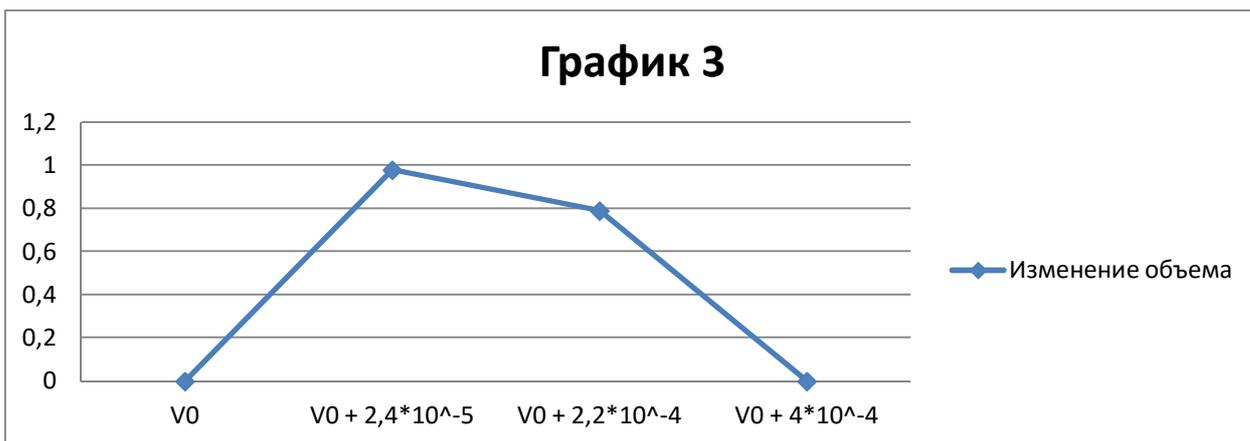


Таблица 1			
d (м)	0,001	0,005	0,011
t (с)	–	7,5	1,0
N (штук)	–	10	10
T (с)	–	0,75	0,1

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

### **Список литературы**

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