

А. В. Репина, В. Б. Репин, Ф. Ш. Шарафисламов,  
Р. Г. Зарипов, Ю. В. Колесников

## ВЛИЯНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТОЧКИ ВВОДА ГАЗООБРАЗНОГО КОМПОНЕНТА НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ГЕНЕРАТОРА ПЕРИОДИЧЕСКИХ УДАРНЫХ ВОЛН

*Ключевые слова:* резонанс, генератор периодических ударных волн.

*Приведены результаты экспериментальных исследований влияния местоположения клапана вдоль резонансной трубы на производительность генератора периодических ударных волн. Показано, что расход подсосываемого через клапан воздуха внутрь резонансной трубы определяется структурой акустического поля, формирующегося внутри резонансной трубы.*

*Key words:* resonance, periodic shock-waves generator.

*The experimental investigations results of influence by location valve along the resonance tube on the productivity by generator of periodic shock waves produced. It shown that air expense over valve inside resonance tube determines acoustic field structure forming inside resonance tube.*

### Введение

В настоящее время одним из методов интенсификации процессов тепло- и массообмена является воздействие акустическим полем [1]. Процессы горения, экстракции, сушки, кристаллизации, теплообмена и т.д. в акустическом поле проходят более интенсивно, нежели при использовании традиционных средств технологии. Так, например, в устройствах, работающих в вибрационном режиме горения, увеличивается теплонапряженность топочного пространства, улучшается теплоотдача к стенкам камеры и, как следствие, повышается коэффициент полезного действия и удельная мощность всей установки. Интерес к этой проблеме возрос также в связи с высокочастотными колебаниями, возникающими при работе ракетных двигателей, возбуждение которых приводит к разрушению двигателя или нарушению функционирования жизненно важных устройств ракеты.

Использование столь перспективного метода воздействия сдерживается отсутствием генераторов, позволяющих генерировать мощные звуковые поля. Одним из таковых является резонансный принцип, заключающийся в том, что при колебаниях поршня в трубе при совпадении колебаний поршня с собственной частотой газового столба, заключенного в трубу, в последней возникают колебания газа с амплитудой скорости достигающей 150 м/с и более [2,3]. При определенных условиях такая система генерирует периодические ударные волны [4]. При генерации столь мощных колебаний проявляются как нелинейные эффекты, так и термоакустические эффекты, на основе которых в настоящее время, ведется разработка акустического холодильника [5].

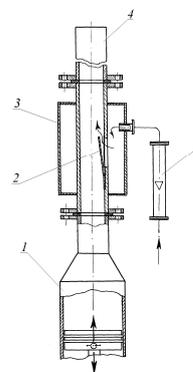
Генератор периодических ударных волн (ГПУВ) может функционировать в качестве предварительного смесителя газообразного топлива с воздухом при одновременной их подаче внутрь резонансной трубы.

Такой подход позволяет за счет интенсификации предварительного смешения компонентов внутри резонансной трубы перевести процесс факельного сжигания газообразного топлива

из диффузионной в кинетическую область, что существенно интенсифицирует процесс горения и сокращает топочный объем за счет сокращения длины факела.

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование влияния местоположения точки ввода газообразного компонента внутрь резонансной трубы на расход подаваемого газообразного компонента.

Эксперимент проводился на установке, представленной на рисунке 1. Узел подачи газа во внутреннюю часть резонансной трубы ГПУВ работает следующим образом.



**Рис. 1 – Конструкция узла подачи газообразного компонента во внутреннюю часть резонансной трубы ГПУВ: 1 – пульсатор, 2 – обратный лепестковый клапан, 3 – обечайка, 4 – резонансная труба ГПУВ, 5 – ротаметр**

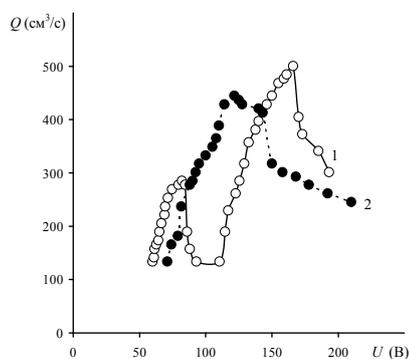
При движении поршня вниз в резонансной трубе в области расположения клапана создается разрежение, в результате чего клапан открывается и в резонансную трубу поступает воздух, расход которого фиксируется ротаметром 5.

При обратном движении поршня давление в области клапана повышается, в результате чего клапан закрывается и воздух, поступивший в резонансную трубу на фазе разрежения, проталкивается вдоль трубы в направлении к открытому концу трубы.

Кроме этого, был использован высокочастотный пульсатор на базе однопоршневого авиамодельного двигателя, который рассчитан на частоты до 10000 оборотов в минуту. Пульсатор приводился в движение электродвигателем номинальной мощностью 80 Вт с максимальной частотой вращения ротора 8000 оборотов в минуту. Такая компоновка допускала плавную регулировку частоты пульсаций поршня от 10 Гц до 133 Гц, что позволило проводить эксперименты с относительно короткими резонансными трубами. Диаметр поршня 25 мм, амплитуда полного хождения поршня составила 20 мм. В качестве резонансной трубы использовалась полипропиленовая труба с внутренним диаметром 13,2 мм. Трубы выполнялись из отдельных секций, которые соединялись через муфты. Длина резонансной трубы изменялась от 9 см до 400 см.

При инженерной разработке важно знать какое количество газа можно дополнительно подать внутрь резонансной трубы при перемещении этого узла вдоль резонансной трубы. Знание этих закономерностей позволит конструкторам использовать два или более таких узлов для подачи необходимого для горения компонентов топлива и окислителя, что позволит создать оптимальную конструкцию горелочного устройства.

На рисунке 2 представлена зависимость расхода воздуха, подсосываемого через клапан от частоты пульсаций поршня. Клапан размещался на расстоянии 12 см от верхней мертвой точки (ВМТ) поршня. Частота колебаний поршня пропорциональна величине электрического напряжения, подаваемого на электродвигатель.



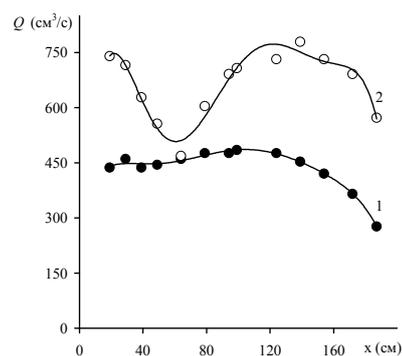
**Рис. 2 – Зависимость расхода воздуха, подсосываемого через клапан, от частоты пульсаций поршня: 1 – длина резонансной трубы 2,07 м ; 2 – длина резонансной трубы 1,26 м**

Из представленной зависимости следует, что расход воздуха качественно повторяет резонансную кривую генератора периодических ударных волн. Так, например, для длины резонансной трубы, равной 1,26 м, максимальный расход подсосываемого воздуха составляет примерно 450 см³/с при напряжении питания 120 В. Это соответствует первому резонансу.

Для более длинной резонансной трубы (L=2,07 м) первый резонанс наблюдается при частоте почти в два раза ниже, чем для резонансной трубы длиной 1,26 м. При этом также наблюдается локальный

максимум величины подсосываемого воздуха, который приходится на величину подсосываемого воздуха, равной 290 см³/с, и реализуется при напряжении питания 80 В. Второй резонанс для этой же резонансной трубы реализуется при напряжении питания, равном 170 В, и величина расхода подсосываемого воздуха при этом составила 500 см³/с.

На рисунке 3 представлена зависимость влияния положения клапана вдоль резонансной трубы на расход подсосываемого воздуха. Положение клапана отсчитывалось от верхней мертвой точки поршня. Длина резонансной трубы выдерживалась равной 1,93 м.



**Рис. 3 – Влияние положения клапана вдоль резонансной трубы на расход подсосываемого воздуха: 1 – первый резонанс; 2 – второй резонанс**

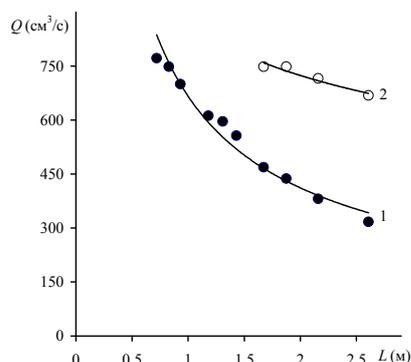
При первом резонансе наблюдается монотонное снижение расхода подсосываемого воздуха по мере перемещения клапана от поршня к открытому торцу резонансной трубы.

При втором резонансе по мере перемещения клапана от поршня к открытому торцу резонансной трубы наблюдается уменьшение величины подсосываемого воздуха через клапан, затем наблюдается рост этой величины и в области открытого торца резонансной трубы величина расхода воздуха вновь уменьшается.

Такой характер полученных зависимостей подобен изменению эпюры давления в стоячей волне образованной внутри резонансной трубы. Следовательно, на расход воздуха влияет локальная амплитуда пульсаций давления, которая реализуется в точке расположения клапана вдоль оси резонансной трубы.

На рисунке 4 показано влияние длины резонансной трубы на расход подсосываемого воздуха. Положение клапана не менялось. Клапан располагался на расстоянии 12 см от верхней мертвой точки поршня. Длина резонансной трубы измерялась от верхней мертвой точки поршня до открытого торца.

По мере увеличения длины резонансной трубы измерения расхода подсосываемого воздуха проводились либо при первом резонансе, либо при втором резонансе, соответствующем данной длине резонансной трубы.



**Рис. 4 – Влияние длины резонансной трубы на расход подсасываемого воздуха: 1 – первый резонанс; 2 – второй резонанс**

Как при первом, так и при втором резонансе, по мере увеличения длины резонансной трубы происходит монотонное снижение расхода подсасываемого воздуха. Однако, количество подсасываемого воздуха для второго резонанса

превышает аналогичную величину для первого резонанса при одинаковой длине резонансной трубы.

В результате экспериментально показано, что расход подсасываемого через клапан воздуха внутрь резонансной трубы определяется структурой акустического поля, формирующегося внутри резонансной трубы.

### Литература

1. Р.Г. Галиуллин, В.Б. Репин, Р.К. Халитов *Течение вязкой жидкости и теплообмен тел в звуковом поле*. Изд-во КГУ, Казань, 1978. 128 с.
2. Ilgamov M.A., Zaripov R.G., Galiullin R.G., Repin V.B., *Applied Mechanics Reviews*, 49, 3, 137-154, (1996).
3. Р.Г. Зарипов, М.А. Ильгамов, Ю.Н. Новиков, В.Б. Репин, *Всесоюзная конференция «Нелинейные явления»* (Москва). Москва. Наука. 1991. с.47-53.
4. А.В. Репина, В.Б. Репин, Р.Г. Зарипов, *Вестник Казанского технологического университета*, 10, 513–516, (2010).
5. Р.Г. Галиуллин, И.П. Ревва, *Инженерно-физический журнал*, 47, 1. 34–41, (1984).

© **А. В. Репина** – канд. техн. наук, асс. каф. физики КНИТУ, nastia\_repina@mail.ru; **В. Б. Репин** – канд. физ.-мат. наук, доцент каф. физики КНИТУ; **Ф. Ш. Шарафисламов** – канд. техн. наук, зав. лаб. каф. оборудование химических заводов КНИТУ; **Р. Г. Зарипов** – д-р физ.-мат. наук, проф., зам. дир. по научной работе ИММ КазНЦ РАН, zaripov@mail.knc.ru.; **Ю. В. Колесников** – вед. конструктор НИЦ ЭНИКС.