

УДК 533.6.011

С.В.Зверинцев (5 курс, каф. ГАД), С.В.Булович, к.ф.-м.н., доц.

## ОСОБЕННОСТИ КОЛЕБАНИЙ ГАЗА В ЗАКРЫТОЙ ТРУБЕ, ВОЗБУЖДАЕМЫХ ДВИЖУЩИМСЯ ПО СИНУСОИДАЛЬНОМУ ЗАКОНУ ПОРШНЕМ

Цель работы заключается в численном исследовании основных закономерностей движения газа в закрытой трубе при вынуждающих синусоидальных колебаниях одного из торцов. Объектом исследования является газ в закрытой теплоизолированной трубе, один торец трубы является неподвижным, а второй колеблется по синусоидальному закону  $x = A \cdot \sin \omega t$ , где  $x$  – пространственная координата,  $t$  – время,  $A$  – амплитуда колебаний,  $\omega$  – частота колебаний. Задача решается в одномерной постановке, т.е. в пренебрежении изменением газодинамических параметров по радиальному направлению трубы. Среды считается идеальными газами.

Расчеты проводились с использованием программы, в которой реализован метод Годунова первого порядка точности по пространству и второго по времени. Для достижения второго порядка по времени использовалась модификация типа "предиктор-корректор", где в качестве обеих составляющих была взята явная схема. Использовалась равномерная по пространству сетка с постоянным на каждом из временных шагов количеством узлов.

В ходе расчетов варьировалась частота колебаний подвижного торца трубы при фиксированных остальных параметрах задачи, в том числе и амплитуде колебаний. В результате расчетов были получены временные зависимости полной энергии и работы всей массы газа в трубе, а также газодинамических параметров в фиксированных точках. Показано, что рассмотренная система может работать в двух режимах – ударном и безударном. В случае ударного режима колебаний движение торца создает ударные волны в газе, а в случае безударного – возмущения, распространяющиеся со скоростью звука. В обоих случаях система накапливает внутреннюю энергию, но в ударном случае этот процесс происходит гораздо быстрее, что объясняется законом неубывания энтропии на разрывах в совокупности со вторым началом термодинамики.

Основное внимание было уделено исследованию поведения системы при приближении частоты вынуждающих колебаний к собственным частотам колебаний системы как акустического резонатора (т.е. в окрестности резонанса), которые определяются формулой

$$\omega_{mn} = \frac{n\pi a}{mL}, \quad (1)$$

где  $m, n = 1, 2, 3, \dots$ ,  $L$  – длина трубы,  $a$  – текущая скорость звука. Если в формуле (1) принять  $m = 1$ , то при  $n = 1, 2, 3, \dots$  она позволяет определить собственные гармоники системы, если же  $n = 1$ , то при  $m = 1, 2, 3, \dots$  формула (1) дает частоты субгармонических колебаний.

Оказалось, что при приближении частоты колебаний торца к частоте собственных колебаний безударный режим колебаний сменяется ударным, а при удалении от частоты собственных колебаний опять устанавливается безударный режим. В связи с постоянным повышением температуры системы происходит изменение со временем частот собственных колебаний. Таким образом, система может последовательно пройти несколько резонансов с последовательной сменой ударных и безударных режимов. Теоретически может существовать бесконечное число собственных гармоник и субгармоник. Практически же в

эксперименте и расчете можно зарегистрировать лишь конечное их число, что объясняется влиянием вязкости газа (в эксперименте это физическая вязкость, а в настоящих расчетах – численная, или сеточная, вязкость). Замечено, что максимально исследуемый эффект проявляется в случае резонанса на первой собственной частоте ( $n = 1, m = 1$ ), а на остальных резонансных частотах он выражен в значительно более слабой форме. Кроме того, необходимо отметить, что подход системы к частоте резонанса не всегда ведет к образованию ударных колебаний, но создает благоприятные условия для их появления.

Следует отметить, что в окрестности резонанса близкий к линейному рост средней по периоду полной энергии испытывает резкое повышение, а по мере удаления от резонанса вновь устанавливается рост полной энергии, близкий к линейному. Таким образом, в окрестности резонанса система интенсивно накапливает энергию. Эффект сопровождается стратификацией температуры вдоль оси трубы, при этом температура газа у неподвижного торца выше, чем у подвижного. Распределение плотности характеризуется продольным градиентом противоположного направления.

Одним из возможных применений исследуемого свойства может служить использование рассматриваемого устройства для отвода избыточного тепла. При этом максимальная эффективность подобного устройства будет достигаться при работе на вынуждающей частоте, близкой к частоте первого собственного резонанса системы.