

УДК 534.23

Я.А. КУМЧЕНКО*НПП «КАШТУЛ», Днепропетровск, Украина***РЕЗОНАТОРНАЯ МОДЕЛЬ ГАШЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ
В КАМЕРАХ СГОРАНИЯ ДВС, ГТУ И ЖРД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
НИЗКОКИПАЩИХ ПРИСАДОК К ОСНОВНЫМ ТОПЛИВАМ**

Предложена резонаторная физическая модель гашения акустической неустойчивости в камерах сгорания различных теплоэнергетических устройств. Предложение реализуется путем внедрения низкокипящих топлив, микрообъемы которых отождествляются с микрорезонаторами. Показаны преимущества низкокипящих добавок к основному топливу, заключающиеся в том, что они «взрываясь» значительно улучшают распыл основного жидкого топлива в камерах сгорания, улучшая при этом полноту его возгорания. Сам же механизм гашения акустических колебаний выражается во «всасывании» волновой энергии в микрообъем пузырьково-добавок при его резонансном режиме.

резонаторная модель, поглощение акустической энергии, микрорезонаторы, уширение спектров**1. Постановка задачи
и аналитический обзор**

В работе [1] показано, что неустойчивость процесса горения в камерах сгорания ДВС И ЖРД носит идентичный характер. Поэтому те мероприятия, о которых будет идти речь в данной работе, относятся ко всем тепловым двигателям (ДВС, ГТУ, ЖРД и т.д.).

Акустическая устойчивость ракетного двигателя или другой динамической системы может быть определена с помощью баланса притока акустической энергии от различных источников и ее потерь (поглощения) в ней. Если приток волной энергии превосходит потери, то система будет неустойчивой. При полном поглощении (гашении) акустической энергии поглотителем работа ДВС, ЖРД и т.д. будет стабильной [2, 3]. В этих работах указано на то, что акустическая реакция на колебания скорости в камерах сгорания (к/с) имеет очень важное значение с точки зрения акустической устойчивости. Здесь же экспериментальным путем было установлено, что данные по реакции на акустическое давление и скорость в совокупности с данными по акустическим потерям в двигателе могут позволить оценить возможность возникновения акустической неустойчи-

вости в данном натурном двигателе.

Подводя итог приведенному в [1] и особенно в [2, 3] можно утверждать, что работу камер сгорания тепловых двигателей всех модификаций нужно организовать так, чтобы все акустические возмущения, как давления так и скорости были подавлены (погашены). Только в этом случае и будет реализована их устойчивая работа.

Отметим здесь, что во всех (за малым исключением) многочисленных исследованиях по устойчивой работе тепловых двигателей, на наш взгляд, не выдвигались конкретные физические модели процессов их бездетонационной работы. То есть анализ работы (устойчивой или с наличием детонационных волн) проводился на основе экспериментально-статистических данных.

**2. Резонаторная модель гашения
акустической неустойчивости в камере
сгорания тепловых двигателей**

Так как устойчивость (неустойчивость) работы, например, ДВС всецело определяется соотношением между притоком акустической энергии в камере сгорания и ее поглощением, то вполне естественным является поиск надежного поглотителя волновой

энергии, находящегося внутри динамической системы. Общеизвестно, что такими поглотителями могут быть только резонаторы.

Итак, предлагаемая автором физическая модель акустических колебаний в камерах сгорания ДВС, ГТУ, ЖРД и т.д. состоит в следующем [5]:

1. В топливо (керосин, бензин, биотопливо, окислитель + горючее (ЖРД), газовое топливо, тяжелые углеводороды и т.д.) вводятся низкокипящие присадки (добавки), которые выступают в роли микрорезонаторов – поглотителей притекающей в результате работы двигателя акустической энергии.

2. Размеры таких микрорезонаторов-поглотителей должны иметь резонансный размер, при котором частота их пульсаций совпадает с частотой притекающей акустической энергии. Только в этом случае [6] вся волновая энергия поглотится микрорезонаторами.

3. Концентрация низкокипящих присадок должна, по возможности, быть такой, чтобы вся притекающая в процессе работы двигателя акустическая энергия была поглощена микрорезонаторами.

4. Для работы ЖРД такие добавки можно вводить как в горючее, так и окислитель.

5. Такими присадками (добавками) должны быть горючие вещества, не снижающие энергетическую эффективность работы теплового двигателя.

3. Работа предлагаемой резонаторной модели

Работоспособность модели рассмотрим на примере пульсации пузырьков воздуха в воде. Правомочность такой аналогии объясняется тем, что низкокипящее топливо сразу при входе в камеру сгорания выделяется в виде пузырьков газа, находящихся в жидкой среде основного топлива (аналог вода + пузырьки воздуха).

В работе [7] был рассмотрен процесс усиления акустических волн в среде, состоящей из воды с пу-

зырьками воздуха, которая обладает дисперсностью и нелинейностью.

На рис. 1 приведена зависимость дисперсности волнового процесса в рассматриваемой среде в координатах $1/c^2$ и $\omega_{см}$, где c – скорость звука в смеси, ω – круговая частота акустического сигнала.

Из [6] известно, что именно при резонансной частоте $\omega_{рез}$ микрорезонаторы, не взаимодействуя друг с другом (не схлопываясь), всасывают акустическую энергию из потока жидкости. Этот процесс поглощения акустической энергии согласно предложенной здесь модели и соответствует устойчивому режиму теплового двигателя.

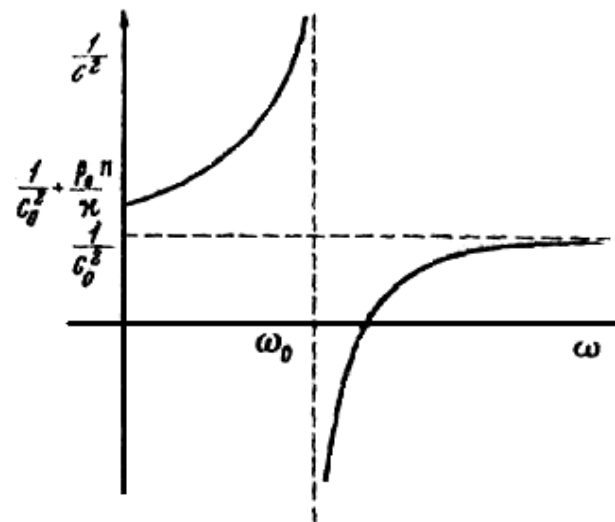


Рис. 1. Дисперсионная зависимость рассматриваемого волнового процесса

Согласно [7]

$$\frac{1}{c_{см}^2} = \frac{1}{c^2} + \rho n / \gamma \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{рез}^2} \right), \quad (1)$$

где $c_{см}$, c – скорость звука в смеси и в чистой воде;

ρ – плотность воды;

n – концентрация пузырьков;

ω и $\omega_{рез}$ – частота акустического сигнала;

$\omega_{рез}$ – резонансная частота пульсаций пузырька;

$\gamma = c_p / c_v \cdot p_n / V_n$;

p_n – давление в пузырьке;

V_n – его объем.

Резонансная частота (собственная частота пузырька) при этом:

$$\omega_{рез}^2 = \frac{c_p / c_v p_n}{0,33\rho V_n^{2/3}}, \quad (2)$$

где p_n – давление в пузырьке;

V_n – его объем;

ρ – плотность жидкости (в нашем случае основного топлива).

Подчеркнем, что рис. 1 тождественен рис. 1 нашей работы [6]. Отличие рис. 1 (см [6], стр. 42) заключается в том, что там указывается на то, что при $\omega < \omega_{рез}$ пузырьки будут расходиться, а при $\omega > \omega_{рез}$ они схлопываются, а при $\omega = \omega_{рез}$ они вообще не взаимодействуют.

Отметим, что нужно выбирать последний вариант, так как пузырьки-резонаторы не исчезают при схлопывании, а «работают» на всасывание в себя акустической энергии от динамического потока, движущегося в камере сгорания.

Таким образом, анализируя формулы (1) и (2) и варьируя приведенными в них параметрами можно выбрать необходимый бездетонационный режим работы двигателя путем незначительных низкокипящих добавок в основные топлива при их резонансном режиме поглощения акустической энергии извне.

Дополнительно обоснуем предлагаемую резонаторную модель бездетонационной работы двигателей с учетом экспериментов.

На рис. 2 приведена осциллограмма нормального и детонационного горения. Видны острые всплески импульсов узкой ширины. Естественно предложить, что если бы удалось эти всплески расширить, то их амплитуда наверняка уменьшилась бы.

В работах [8 – 10] на примере работы резонатора, в миллиметровом диапазоне СВЧ в присутствии неоднородностей в виде случайно расположенной спрессованной пенопластовой крошки показано, что присутствие неоднородностей в резонаторе приводит к хаотизации его спектра. Установлено, что не-

однородности вызывают уширение резонансных линий, которые происходят за счет межмодового рассеивания. Это рассеивание аналогично поглощению акустической энергии от внешнего источника.

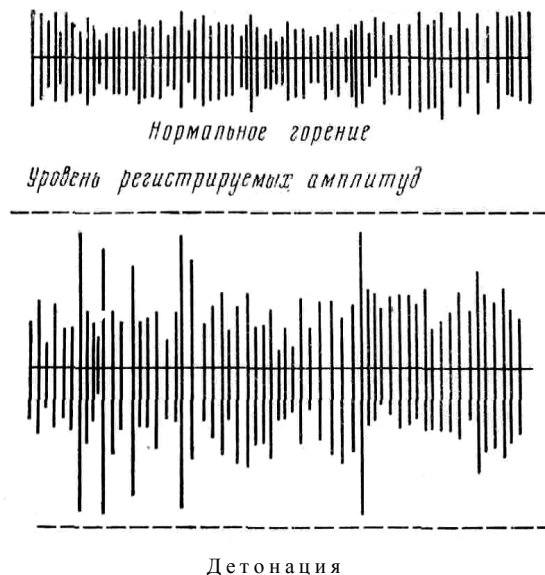


Рис. 2. Осциллограмма импульсов при нормальном горении и детонации.

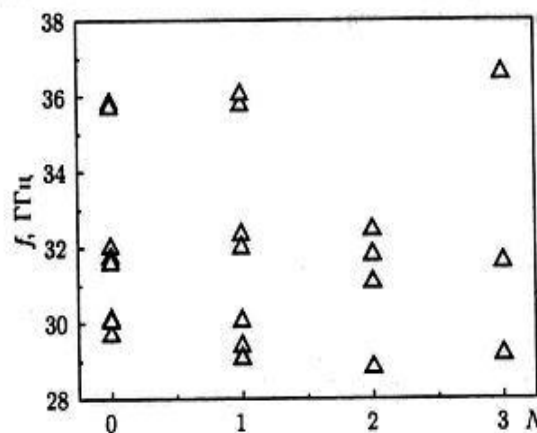


Рис. 3. Частоты генерации в зависимости от количества неоднородностей N .

Пустой резонатор ($N = 0$), резонатор на четверть заполненный неоднородностями ($N = 1$), наполовину ($N = 2$) и полностью заполненный ($N = 3$)

В предложенной здесь модели бездетонационной работы ДВС, ГТУ, ЖРД и т.д. аналогами объемных неоднородностей являются микрорезонаторы при добавках к основному топливу горючих низкокипящих веществ.

На рис. 3 [8] представлены частоты генерации в зависимости от количества неоднородностей.

Еще раз подчеркиваем, что в предлагаемой здесь резонансно-резонаторной модели бездетонационной работы тепловых двигателей аналогом рассмотренных в [8] объемных неоднородностей являются микрообъемы добавок к основным топливам. Из рис. 3 видно, что случайные неоднородности (микрообъемы-резонаторы) приводят к уширению резонансных линий и разрежению густоты спектра.

Выводы

Предлагаемая автором физическая резонаторно-резонансная модель гашения акустических колебаний позволяет строго рассчитывать режимы бездетонационной работы тепловых двигателей.

Литература

1. Лернер М.О. Регулирование процесса горения в двигателях с искровым зажиганием. – М., 1972. – С. 44-45.
2. Степ Е.Е. Влияние акустического давления и скорости на низкочастотную неустойчивость // Ракетная техника и космонавтика. – 1967. – Т. 5, № 5. – С. 144-149.
3. Bird J.F., Hart R.W. Erosion mechanism for nonlinear instability in the axial of solid propel ant racket motors // ARS J.32. – 1962. – P. 374-378.
4. Bird J.F., Hart R.W. Finet acoustic oscillations and erosive burning is solid fuel rockets // Tech. Mero. – T 6-335-16.1965.
5. Кумченко Я.А. Перспектива применения низкокипящих присадок к основным топливам с целью повышения эффективности тепловых энергоустановок // Вестник двигателестроителя. – 2007. – № 3. – С. 140-142.
6. Кумченко Я.А. Резонаторная природа взаимодействия между аэрозольными частицами. Формирование акустической потенциальной ямы // Физика аэродисперсных систем.– Одесса. – 2002. – Вып. 39. – С. 40-50.
7. Заболотская Е.А. Об одной возможности усиления акустических волн / Ак. ж. – 1963. – Т. 1, вып. 2. – С. 296-299.
8. Ганапольский Е.М., Еременок З.Е., Тарасов Ю.В. Моделирование активной наноэлектронной системы со случайными неоднородностями в миллиметровом диапазоне // Док. НАНУ. – 2006. – № 10. – С. 78-84.
9. Ганапольский Е.М., Еременко З.Е. «Квантовый хаос» в 3-D электромагнитной СВЧ системе с конфигурацией бильярда Бунимовича // Док. НАНУ. – 2000. – № 12. – С. 93-98.
10. Chaotic dynamics in a three – dimensional superconducting microwave billiard / Alt H. Graf H.D. et. al. // Phys. Rev. E. – 1995. – 52. – P. 1146-1155.

Поступила в редакцию 29.05.2008

Рецензент: д-р ф-м. наук, проф. Е.Г. Попов, Днепропетровский государственный аграрный университет, Днепропетровск.