

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОБДУВА ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ ДИЗЕЛЬНОЙ САЖИ ВОЗМУЩЕННОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДОЙ

О.Ф. Науменко, Г.С. Юр

Приведены результаты вычислительного эксперимента по исследованию процесса обдува мелких взвешенных в осциллирующей газовой среде частиц дизельной сажи.

Одним из известных, доступных и простых способов интенсификации процесса горения твердого топлива в различных топочных устройствах является применение обдува свежим воздухом.

Очевидно, что при микроскопических размерах частиц использование направленного движения газа (например, в виде осевой закрутки воздушного заряда) малоэффективно, т.к. обладая малой массой и определенным воздушным сопротивлением, взвешенные частицы дизельной сажи легко подхватываются потоком, их скорости быстро сравниваются и эффективность такой организации обдува резко снижается.

Поэтому, более эффективным способом интенсификации процесса горения мелких частиц считается использование пульсационной составляющей турбулентного движения. Если на взвешенную частицу сажи воздействовать периодическими осцилляциями газовой среды, содержащей окислитель, то частица, имея определенную массу, будет отставать от колебательного движения молекул газа и, следовательно, будет происходить обдув частицы свежим зарядом. Это позволит интенсифицировать процессы тепло-массообмена около взвешенных частиц топлива и сократить время их горения.

Согласно опытам, выполненным Б.М. Гунько [1] при возбуждении в пламени мощных газодинамических колебаний количество сажи снижается в 5 – 8 раз в сравнении с ламинарным режимом.

Анализ частот основных гармоник осцилляций рабочего тела в камерах сгорания отечественных четырехтактных судовых дизелей показал, что доминирующими (с точки зрения интенсивности) являются поперечные радиальные и тангенциальные газодинамические колебания с частотами в диапазоне от 1 до 10 кГц [2].

Предположим, что твердая частица, характерный размер, которой равен α , находится в газовой среде с плотностью ρ_1 . Будем считать, что фазовые превращения от-

сутствуют, а осцилляции газовой среды имеют гармонический характер и определяются зависимостью

$$g = A \cdot \sin 2\pi f \tau, \quad (1)$$

где g - текущее значение скорости движения газовой среды;

A, f - амплитуда скорости и частота колебаний газовой среды;

τ - текущее время.

Исследуем динамику движения различных по форме, размерам и плотности частиц дизельной сажи при действии различных по частоте и интенсивности осцилляций газовой среды.

Для упрощения математической модели примем следующие допущения.

1. Частица дизельной сажи помещена в газую среду и находится там во взвешенном состоянии. Поэтому влияние силы тяжести на динамику ее движения учитываться не будет.

2. Пульсации газа будем считать одномерными.

Для определения скорости движения твердой частицы в осциллирующей газовой среде используем уравнение движения центра масс твердого шара [3]

$$\frac{\pi \cdot \rho_2 \alpha^3}{6} \frac{d\omega}{d\tau} = \psi_1 \psi_2 F_m \cdot \rho_1 \frac{(g - \omega)^2}{2}, \quad (2)$$

где ρ_1, ρ_2 - соответственно плотность газовой среды и частицы сажи;

ω - скорость движения твердой частицы;

ψ, F_m - коэффициент сопротивления и площадь миделя частицы;

ψ_2 - коэффициент, учитывающий влияние деформации частицы на сопротивление движению в газовом потоке.

Будем считать, что $\psi_2 = 1$.

Перемещение взвешенной твердой частицы в пространстве определится выражением

$$dS = \omega \cdot d\tau, \quad (3)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОБДУВА ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ ДИЗЕЛЬНОЙ САЖИ ВОЗМУЩЕННОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДОЙ

Система уравнений (1), (2) и (3) замкнута, т.к. состоит из трех уравнений и включает в себя три неизвестных величины \mathcal{G}, ω, S .

Для решений к ней необходимо присоединить условия однозначности:

- начальные условия: $\omega_0 = 0; \mathcal{G}_0 = 0;$

- исходные данные: $A; f; \alpha; \rho_1; \rho_2.$

Проведем численное исследование динамики движения и обдува различных по размерам, форме и плотности частиц дизельной сажи помещенной в осциллирующую газовую среду в условиях максимально приближенным к условиям реального дизеля.

Мачульский Ф.Ф. [4] все частицы сажи, которые образуются при сгорании топлива в дизеле, условно разделил на три вида: первичные, вторичные и третичные структуры.

Первичные структуры образуются в пламени топливной струи при нахождении поршня в районе ВМТ. Эти частицы имеют форму сферы диаметром 0,015-0,17. Насыпная плотность равна 1200 кг/м, пикнометрическая равна 1900 кг/м [5].

Выполненный численный эксперимент показал, что ввиду малых размеров таких частиц их скорости совпадают со скоростью движения газовой среды и эффект обдува отсутствует. Плотность газовой среды в диапазоне 10-50 кг/м и частота колебаний в диапазоне 1-10 кГц не оказывает заметного влияния на процесс обдува.

Вторичные структуры образуются при движении поршня к НМТ в условиях понижения температуры и плотности среды. Частицы представляют собой разветвленные цепи и конгломераты неправильной формы.

Численный анализ показал, что с увеличением размера частиц до 1 мкм появляется ярко выраженный эффект обдува за счет разности скоростей колебательного движения газа и самой частицы. Это объясняется тем, что с увеличением размеров увеличивается и масса частицы, что уменьшает ее податливость по отношению к скорости перемещения молекул газа.

На рис. 1 в качестве примера графически изображены скорости перемещения частиц газа, твердой частицы диаметром 1 мкм и траектория её перемещения в пространстве.

Кроме этого, в результате проведения численного эксперимента отмечено, что частицы, представляющие вторичные структуры, которые имеют более разветвленную структуру и меньшую плотность, обдуваются слабее, т.к. они легче увлекаются пульсациями газовой среды. При плотности частицы рав-

ной 200 кг/м явление обдува практически отсутствует.

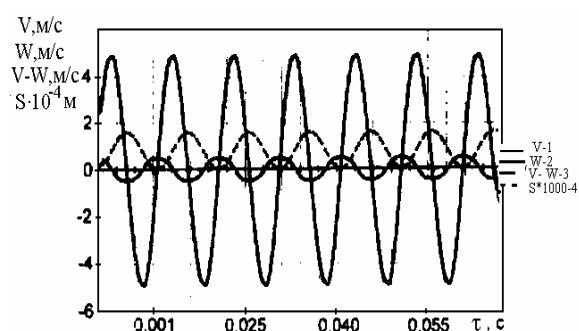


Рис. 1. Динамика перемещения твердых частиц вторичных структур дизельной сажи в осциллирующей газовой среде: 1 – диаграмма изменения скорости движения газовой среды, 2 – диаграмма изменения скорости движения твердой частицы, 3 – диаграмма изменения скорости обдува частицы, 4 – траектория перемещения частицы в пространстве

Отмечено также, что с уменьшением плотности среды эффект обдува существенно возрастает. Это объясняется тем, что чем плотнее среда, тем в большей степени она будет увлекать частицу своими пульсациями, и это в свою очередь будет снижать интенсивность процесса обдува.

Третичные структуры образуются во время выпуска отработавших газов в условиях низких температур и давлений. Они представляют собой конгломераты неправильной формы размером до 100 мкм и более.

Расчеты показали, что с увеличением размеров твердой частицы они, при помещении их в осциллирующую среду, все больше стремятся занять положение покоя и скорость их обдува становится близка к скорости гармонических колебаний молекул воздуха в возмущенной среде.

Вычислительный эксперимент показал, что высокочастотные пульсации газа в цилиндре дизеля при положении поршня в районе ВМТ не в состоянии интенсифицировать процесс горения мелких частиц.

Для решения задачи уменьшения количества твердых частиц в отработавших газах необходимо разработать такую конструкцию камеры сгорания, которая позволила не только усиливать газодинамические колебания в процессе горения распыленного топлива, но и сохранять их на линии расширения и такте выпуска.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуныко Б.М. Интенсификация гомогенного горения низкочастотными колебаниями // Труды

Всесоюзной научно-технической конференции по проблеме вибрационного и пульсационного горения / Под ред. Б.В. Раушенбаха. Сектор научно-технической информации ГИАП. – М., 1962. – С. 7-19.

2. Науменко О.Ф. Амплитудно-частотные характеристики гидродинамических колебаний рабочего тела в судовых дизелях [// Дизельные энергетические установки речных судов. Сборник научн. трудов. – Новосибирск. НГАВТ, 2005. – С. 27–30.

3. Физические основы рабочего процесса в камере сгорания воздушно-реактивных двигателей / Б.В. Раушенбах, С.А. Белый, И.В. Беспалов, В.Я.

Бородачев др. – М.: Машиностроение, 1964. – 526 с.

4. Мачульский Ф.Ф. Дисперсность и структура дизельной сажи // В кн. Токсичность двигателей внутреннего сгорания и пути ее снижения. – М.: Машиностроение, 1966. – С. 206–219.

5. Пушнин В.П. Особенности образования и насыпная плотность дизельной сажи // Дизельные энергетические установки речных судов. Сборник научн. трудов. – Новосибирск: Изд-во НГАВТ, 2000. – С 121-172.