

лями из возобновляемых сырьевых источников, то есть задач ресурсосбережения.

Результаты испытаний, проведенных в рамках совместной программы исследований РУДН и НПП «Агродизель» на малоразмерном дизеле МД-6, подтвердили правомерность высказанных выше положений.

В.А. Сметанюк, С.М. Фролов

(Россия, Москва, ИХФ им. Н. Н. Семенова РАН)

КРИТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ДРОБЛЕНИЯ КАПЛИ ТОПЛИВА В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ДВС

Введение. Известно несколько механизмов дробления жидкой капли в газовом потоке. При относительно низких числах Вебера (порядка 1 и выше) капля деформируется под действием аэродинамических сил. Деформация вызвана избыточным давлением в лобовой части по отношению к боковой и тыльной поверхности капли. Капля сплющивается и приобретает форму, похожую на эллипсоид вращения. При достижении критической стадии деформации капля разрушается на несколько фрагментов. Такую моду дробления часто называют «вибрационной» модой. Экспериментальные данные по дроблению капель в слабых ударных волнах показали, что критическое число Вебера We_* , при котором начинается вибрационное дробление капли равно 5-6 (по радиусу капли). Этот критерий часто используют для определения условий вторичного дробления топливных струй в ДВС. Однако при этом не учитывается, что указанные критические числа Вебера получены для дробления капель маловязких жидкостей в низкоплотных потоках. Возникает вопрос: насколько приемлемо использование критериев такого рода в условиях окончания такта сжатия в ДВС, когда давление и температура газа достигают высоких значений и процессы фазового перехода могут оказывать влияние на вторичное дробление капель? В данной работе предпринята попытка ответить на этот вопрос на основе математической модели деформации капли.

На сегодняшний день существует два принципиальных подхода к решению задачи о деформации и дроблении капли в потоке газа. В первом

© Сметанюк В.А., Фролов С.М., 2003

решают полную трехмерную систему определяющих уравнений. Во втором используют упрощенные уравнения. Первый подход позволяет получить более точные данные, но при больших вычислительных затратах. Второй подход может давать приемлемые результаты в каком-либо узком диапазоне исходных данных.

Основу упрощенных моделей составляют обыкновенные дифференциальные уравнения деформации первого или второго порядка по времени для характерного размера деформированной капли. В качестве начального условия для уравнений первого порядка достаточно задать начальный размер капли. В моделях, основанных на уравнениях второго порядка, необходимо дополнительно задать начальную скорость деформации капли, информацию о которой можно получить либо из экспериментальных данных, либо на основе более сложных расчетов. Модель, описанная ниже, включает уравнение деформации первого порядка и учитывает испарение жидкости.

Постановка задачи. Модель деформации одиночной капли основана на следующих допущениях: (1) капля несжимаемой жидкости первоначально имеет форму сферы радиуса R и скорость U_0 ; (2) окружающий газ покоится; (3) деформируемая капля имеет форму эллипсоида вращения с большой полуосью b ; (4) происходит одноосное квазистатическое нагружение капли; и (5) деформация становится необратимой при достижении критического размера $b = b/R = 1.35$.

Модель основана на следующих уравнениях: деформации, $db/dt = -0.5 \cdot U(b/R) \Delta p / \rho U^2 (\mu_l / \mu_l \rho_l)^{1/3}$ (получено из обобщенного закона Стокса в деформациях), движения центра масс капли, $dU/dt = -0.375 \pi^2 C_x R b^4 \rho_l \rho U^2 / m^2$ (получено из второго закона Ньютона) и испарения, $dm/dt = -\rho_l \pi K dV/dS$ (получено из закона линейной регрессии поверхности сферической капли). В этих уравнениях U - скорость центра масс капли, Δp - проекция суммарного деформирующего давления на направление ее движения, μ_l , ρ_l - динамическая вязкость и плотность газа и жидкости, соответственно; C_x - коэффициент сопротивления, K - коэффициент испарения.

Результаты расчетов. Систему уравнений привели к безразмерной форме, причем в качестве масштабов времени, размера и скорости капли приняли $t_d = 2R(\rho_l/\rho)^{0.5}/U_0$, R и U_0 . Систему безразмерных уравнений относительно числа Вебера $We = \rho U^2 R / \sigma$, относительной деформации \bar{b} и относительной массы капли $m = 3m/4\pi\rho_l R^3$ решали численно методом Рунге - Кутты 4-го порядка аппроксимации с переменным шагом по

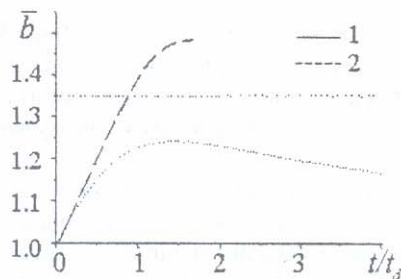


Рис. 1 Динамика деформации капель *n*-декана при начальной скорости 100 м/с, давлении 0,1 МПа и температуре воздуха 300 К. 1 - $R=10$ мкм, 2 - 20 мкм

критическое число Вебера We_* , соответствующее $b = 1.35$, равно 5.0 и согласуется с известными экспериментальными наблюдениями для маловязких жидкостей ($We_* \approx 5 - 6$).

На рис. 2 показана зависимость We_* от $\Pi = (\rho/\rho_1)^{2/3}(\mu_1/\mu)^{1/3}$ и $\Lambda = 0.5 \cdot K \cdot \rho_1^{1/2} \cdot (\rho/\rho_1)^{1/6}(\mu_1/\mu)^{1/3} / (\sigma^{1/2} R^{1/2})$ - комплексов, входящих в систему безразмерных уравнений. Комплекс Π характеризует влияние давления и температуры газа, а комплекс Λ - влияние испарения жидкости на деформацию капли. Коэффициент испарения капли рассчитывали по приближенному соотношению, учитывающему скорость обтекания капли. Видно, что с ростом плотности газа We_* возрастает. Учет испарения капли

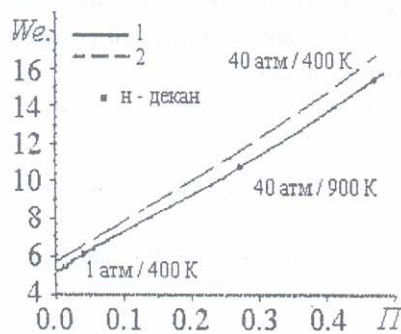


Рис. 2 Зависимость критического числа Вебера от безразмерных комплексов Π и Λ . 1 - расчет без испарения ($\Lambda = 0$), 2 - с испарением ($\Lambda = 1$)

времени. На рис. 1 показаны расчетные кривые для деформации капли *n*-декана с начальным радиусом 10 и 20 мкм при начальной скорости капли $U_0 = 100$ м/с при нормальных атмосферных условиях (числа Вебера равны соответственно 4.6 и 9.3). Видно, что капля меньшего размера не достигает критической деформации (пунктир $b = 1.35$), тогда как деформация капли большего размера становится «закритической». Отметим, что

при ее динамической деформации также приводит к увеличению We_* , хотя в значительно меньшей степени, чем плотность газа.

В условиях конца такта сжатия в ДВС (например, 40 атм и 900 К) We_* достигает значений 10-11 вместо 5-6 при нормальных атмосферных условиях.

Закключение. Предложена простая модель деформации капли топлива до критической стадии, предшествующей дроблению по «вибрационному» механизму.

Показано, что соответствующее критическое число Вебера зависит от плотности газа и летучести жидкости. Часто используемый критерий для вторичного дробления капель $We_c \approx 5-6$, по-видимому, неприменим к условиям конца такта сжатия в ДВС. Для подтверждения модельных представлений необходимы экспериментальные исследования.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 02-03-33168, 02-03-04005) и ФЦП «Интеграция» (проект А0030).

Ф.И. Пинский (Россия, Москва, МГТУ "МАМИ")

ПРЕИМУЩЕСТВА БЕЗВАЛЬНЫХ ЛИНЕЙНЫХ СВОБОДНОПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ С ПОЛНЫМ МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Безвальные линейные свободнопоршневые двигатель-генераторы (СПДГ) представляют собой линейные электрические генераторы, приводимые свободнопоршневыми (не имеющими механических ограничений хода поршней) двигателями внутреннего сгорания. В СПДГ возвратно-поступательное движение поршней непосредственно преобразуется в переменный ток.

В наиболее рациональных вариантах СПДГ все силовые и управляющие механические связи полностью заменены информационными, реализуемыми микропроцессорным управляющим устройством - микроконтроллером. Именно микроконтроллер, действующий на основе специфических компьютерных технологий в оптимальном адаптивном управлении, обеспечивает работоспособность СПДГ.

Конструктивно СПДГ представляет собой один или несколько модулей, состоящих из оппозитно расположенных цилиндров свободнопоршневых двигателей внутреннего сгорания, поршни которых жестко соединены с якорями линейных электрических генераторов. Исполнение в виде наборов автономных унифицированных модулей - основное отличие СПДГ от обычных двигатель-генераторов.

В числе преимуществ СПДГ по сравнению с обычными двигатель-генераторами вращательного действия и факторов, их обеспечивающих, определяющее значение имеют:

© Пинский Ф.И.. 2003