

УДК 662.75:621.436

Половинка Э.М. Албул Д.А.
ОНМА

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОПЛИВО-ВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ В КАЧЕСТВЕ РАБОЧЕГО ТЕЛА ДЛЯ СИСТЕМ ТОПЛИВОПОДАЧИ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Существование топливоздушных структур в различных элементах системы впрыскивания характерно для многих типов топливной аппаратуры дизелей. Однако проведенные исследования в этой области носят ограниченный характер, так как рассматривают лишь условия появления пузырьковой среды в результате выделения растворённого воздуха и паров топлива, не затрагивая организацию управляемого процесса формирования топливоздушной смеси (ТВС) в системе впрыскивания с целью изменения характеристик впрыскивания и смесеобразования [1].

С целью оценки влияния состава ТВС на параметры распыливания на кафедре СЭУ ОНМА выполнен эксперимент с впрыскиванием «чистого» топлива и ТВС с различным содержанием газовой среды в воздух при атмосферном давлении. Опыты проведены на установке, схема которой представлена на рис. 1.

Её основные элементы следующие: 1 – воздушный компрессор, 2 – воздушный баллон, 3 – золотниковый клапан, 4 – смеситель, 5 – форсунка, 6 – топливный насос высокого давления (ТНВД) с ручным приводом, 7 – манометр. Фотографирование факела распыленного топлива осуществлялось камерой Olympus SP-51OUZ.

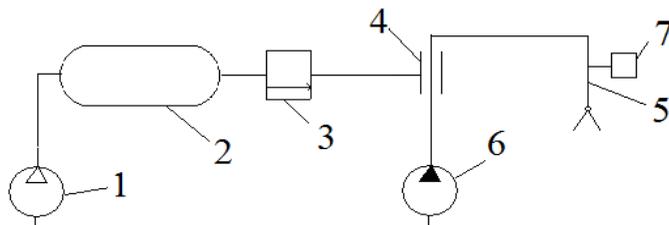


Рис. 1. Экспериментальная установка.

Состав ТВС изменялся путём предварительной подачи воздуха различного давления в систему, заполненную «чистым» топливом. Диапазон изменения давления воздуха составил 0.1 – 5 МПа. Дав-

ление нагнетания регулировалось затяжкой иглы форсунки в пределах 1 – 5 МПа.

Результаты эксперимента показали увеличение ширины факела распыленной ТВС по отношению к «чистому» топливу на 30 – 500% в зависимости от состава и давления нагнетания ТВС. Примеры полученных фотографий приведены на рис. 2 (слева «чистое» топливо, справа ТВС).

Полученные данные подтверждают представления о влиянии добавки воздуха на характеристики распыливания топлива. Очевидно также, что при введении присадки газа изменяются и процессы впрыскивания.

Для анализа гидродинамических параметров топливоподачи необходимо определить транспортные свойства рабочего тела (плотность, сжимаемость, скорость звука).

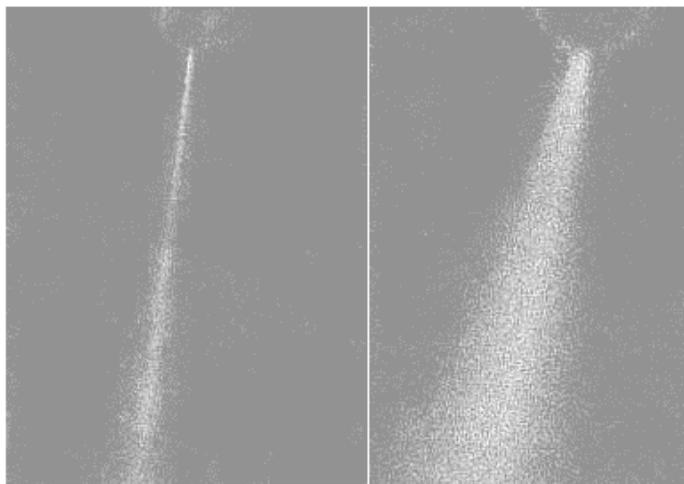


Рис.2. Распыливание ТВС.

Расчётное исследование указанных параметров, представленное в данной работе, выполнено на математической модели при следующих допущениях [2]: 1) топливо считается несжимаемым, и такие его параметры как вязкость и поверхностное натяжение не оказывают влияние на характеристики ТВС; 2) воздух распределён равномерно по объёму смеси, образуя с топливом однородную среду; 3) жидкая и газовая фазы находятся в тепловом и динамическом равновесии (скорости истечения одинаковы); 4) состояние газа подчиняет-

ся уравнению $p = \rho_v g R T$, где ρ_v - плотность воздуха, R – универсальная газовая постоянная, T – абсолютная температура.

Принимая неизменным соотношение массы воздуха M_B и топлива M_T , для расчёта массовой доли воздуха ϵ_B и топлива ϵ_T можно применить формулы:

$$\epsilon_B = M_B / (M_B + M_T) = M_B / M_{см} \quad (1)$$

$$\epsilon_T = 1 - \epsilon_B = M_T / M_{см} \quad (2)$$

Так как $M = \rho V$, то объёмная доля топлива в смеси при атмосферном давлении:

$$\delta_{T0} = V_T / V_{см} = 1 / (1 + (\epsilon_B / (1 - \epsilon_B))(\rho_T / \rho_B)) \quad (3)$$

где V_T и $V_{см}$ – объёмы топлива и ТВС, ρ_T – плотность топлива.

Объёмная доля топлива в смеси с увеличением давления выше атмосферного:

$$\delta_T = \delta_{T0} ((p/p_0)/(1 - \delta_{T0} (1 - p/p_0))) \quad (4)$$

где p_0 и p – давления до и после сопла распылителя соответственно.

Коэффициент сжимаемости воздуха:

$$\alpha_B = 1/p \quad (5)$$

Плотность смеси:

$$\rho_{см} = \rho_T \delta_T + (1 - \delta_T) \rho_B \quad (6)$$

Коэффициент сжимаемости смеси:

$$\alpha_{см} = \alpha_T \delta_T + \alpha_B (1 - \delta_T) \quad (7)$$

Наряду с изменением гидродинамических характеристик процессов в системе впрыскивания при использовании ТВС следует ожидать и влияния добавки воздуха на процесс истечения из распылителя форсунки.

Для изотермического процесс истечения упрощённое выражение скорости будет иметь вид:

$$W_{см} = \sqrt{\frac{2}{\rho_T} (p_0 - p)} \sqrt{1 - \frac{1 - \delta_{T0}}{\delta_{T0}} \frac{\ln p/p_0}{1 - p/p_0}} = \psi_{см} \cdot W_T \quad (8)$$

где $\psi_{см}$ - коэффициент увеличения скорости смеси; W_T - скорость истечения топлива, p_0 и p - давления до и после сопла распылителя, δ_{T0} – начальная объёмная доля топлива.

Из (8) следует, что скорость истечения ТВС возрастает с увеличением содержания воздуха в составе смеси, что, в свою очередь, позволяет изменять характеристики распыливания и смесеобразования.

Ещё одним важным параметром, влияющим на скорость истечения топлива, является разность между давлениями до и после распылителя (сопла) форсунки (p_0 и p), с увеличением которой возрастет и скорость истечения. Предельную скорость истечения можно найти, как скорость распространения звука, поскольку при равенстве этих величин процесс истечения становится критическим и расход ТВС через сопло не увеличивается. Скорость распространения звука в ТВС можно определить как скорость распространения волн давления и плотности (малых возмущений):

$$a_{\text{см}} = \frac{1}{\sqrt{\alpha_{\text{см}} \cdot \rho_{\text{см}}}} \quad (9) ,$$

С учётом (7) получим:

$$a_{\text{см}} = \frac{1}{\sqrt{(\alpha_{\text{т}} \cdot \delta_{\text{т}} + \alpha_{\text{в}} (1 - \delta_{\text{т}})) \rho_{\text{см}}}} \quad (10)$$

Рассмотренная математическая модель реализована в форме программы для ЭВМ. Алгоритм программы представлен блок-схемой на рис. 3.

Рассмотренная математическая модель реализована в форме программы для ЭВМ. При расчётах ставилась задача исследования параметров в заданном диапазоне изменения компонентов ТВС и переменных условий её использования.

Как указано выше, основными параметрами ТВС являются плотность топлива и массовое содержание воздуха. Переменной величиной являлось давление смеси. В соответствии с этим подходом составлен перечень исходных данных, включённых в табл.1.

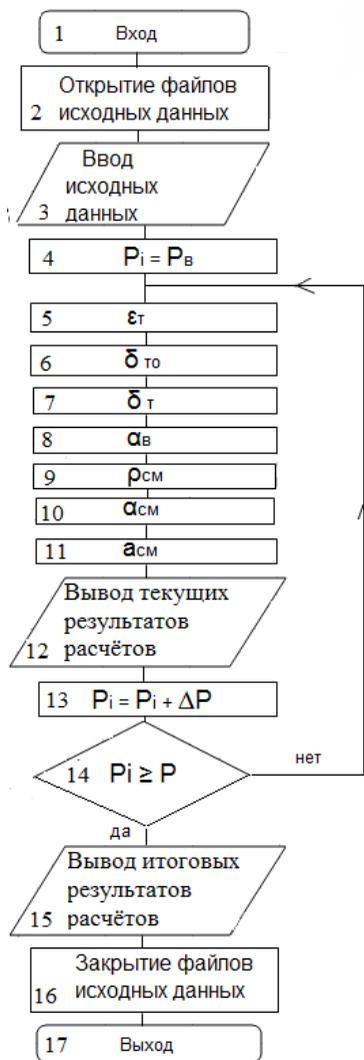


Рис.3 Блок-схема программы.

Кроме того в их число входит диапазон изменения переменного параметра и шаг, с которым ведётся расчёт. После ввода исходных данных (ИД) проводятся вычисления на текущем шаге. Перечень расчётных характеристик и последовательность вычислений приведена в табл. 2.

В списке указан номер блока, символьное обозначение параметра, номер формулы, по которой ведётся расчёт, номер блока программы.

Программа составлена в соответствии с изложенной методикой и предусматривает следующие действия.

1. Открытие файлов исходных данных и результатов расчёта (блок 2)

2. Ввод и печать исходных данных (блок 3).

3. Задание текущей величины давления, равного начальному

значению: $p_i = p_0$ (блок 4)

4. Основной цикл расчёта параметров ТВС в соответствии с указанным выше перечнем (Табл. 2 (блоки 5-11)).

5. Вывод текущих результатов расчётов (блок 12)

6. Нарастивание текущего значения давления (блок 13) и сравнение его с верхней границей расчётного диапазона (блок 14). В случае превышения границ диапазона осуществляется выход из цикла.

7. Вывод итоговых результатов расчётов (блок 15) и закрытие файлов ИД (блок 16).

Таблица 1. Исходные данные

Условные обозначения		Наименование
В формулах	На языке Фортран	
ε_B	EAIR	массовая доля воздуха
ρ_B	ROAIR	
ρ_T	ROFL	плотность воздуха при атмосферных условиях
ρ_0	PO	плотность топлива при атмосферных условиях
ρ_{max}	PMX	
Δp	DPMX	начальное значение давления топлива
α_T	ALFL	
		шаг наращивания давления топлива
		коэффициент сжимаемости топлива

Как отмечено выше, основным переменным параметром, определяющим состояние ТВС заданного состава, является давление. Поэтому при разработке плана расчетного исследования определены пределы с учётом его изменения в системах впрыскивания топлива.

Таблица 2 Расчётные величины.

Условные обозначения		Наименование, номер формулы, номер блока программы
В формулах	На языке Фортран	
ε_T	EFUEL	массовая доля топлива в смеси; 2, 5
δ_{TO}	DVFL	
δ_T	DVFLP	объёмная доля топлива при атмосферных условиях; 3, 6
α_B	ALAIR	объёмная доля топлива в ТВС при максимальном давлении; 4, 7
ρ_{CM}	ROMX	
α_{CM}	ALMXI	коэффициент сжимаемости воздуха; 5, 8
a_{CM}	SPMX	
		плотность смеси; 6, 9
		коэффициент сжимаемости смеси; 7, 10
		скорость звука в смеси; 11, 11

Кроме того, собственно характеристики ТВС задаются двумя величинами: плотностью топлива ρ_t и содержанием воздуха ϵ_B . Т.о. в каждом расчетном эксперименте неизменными оставались ρ_t и ϵ_B .

Проведены расчёты свойств ТВС для следующих условий:

при различном содержании воздуха в ТВС и неизменной плотности топлива,

при различной плотности топлива и одинаковом содержании воздуха.

Рассмотрим полученные результаты.

В первой серии расчётов изменялся состав ТВС за счёт переменного $\epsilon_B = 0,01 - 0,12$ с шагом 0,01. Диапазон давления составил $p = 0 - 88$ МПа с шагом 2 МПа.

Результаты моделирования в графической форме даны на рис. 4

Из расчётов следует, что с увеличением ϵ_B плотность ТВС падает. При этом степень влияния зависит от давления смеси.

Так, при давлении $p = 10$ МПа, уменьшение плотности $\Delta\rho$ при увеличении массового содержания воздуха на 0,01 составляет 4,5 – 6,8%, при $p = 20$ МПа $\Delta\rho = 3 - 3,5$ %, при $p = 88$ МПа $\Delta\rho = 0,8 - 0,9$ %. Используя зависимости рис. 4 можно провести анализ влияния давления на плотность и одновременно учесть его характер при различном составе смеси.

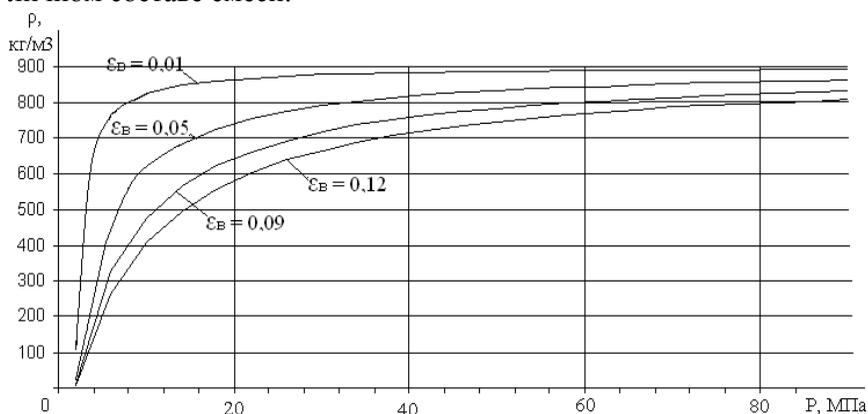


Рис.3. Зависимость плотности от давления и состава ТВС.

Наиболее интенсивно изменение плотности происходит на участке давлений до $p = 25$ МПа. Действительно, при $\epsilon_B = 0,12$ этот диапазон составляет 640 кг/м³, а для $\epsilon_B = 0,01$ соответственно 875 кг/м³. Эти данные характеризуют также и влияние ϵ_B на характер

зависимости плотности от давления. С ростом содержания воздуха интенсивность изменения плотности падает, что следует из проведенного сравнения $\Delta\rho$ при различных значениях ε_B .

Зависимость скорости звука, от состава и давления ТВС (рис. 5) относится к диапазону $\varepsilon_B = 0,01 - 0,12$; $p = 0 - 88$ МПа.

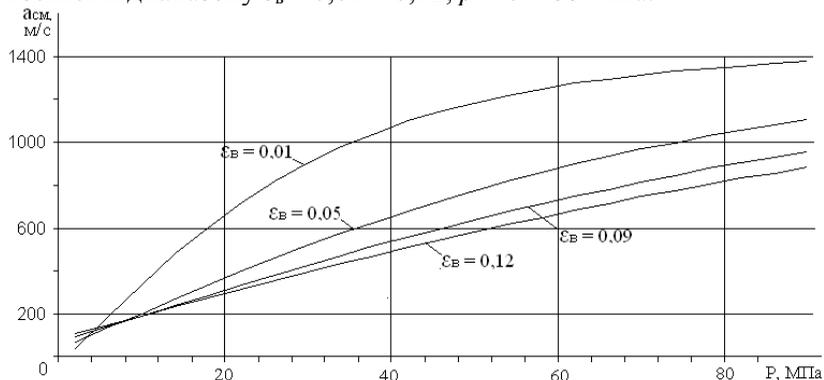


Рис.4. Зависимость скорости звука от давления и состава ТВС.

Из результатов расчётов видно что с ростом содержания воздуха в составе ТВС, скорость звука, а следовательно и критическая скорость истечения ТВС через сопло распылителя, уменьшается. Однако, с ростом ε_B , интенсивность изменения скорости падает. Так, при повышении ε_B с 0,01 до 0,02 в диапазоне давлений 20 – 88 МПа, уменьшение скорости звука составило 6,5 – 17 %, а при повышении ε_B с 0,11 до 0,12 на том же участке давлений – 2,7 – 3 %.

Помимо содержания воздуха, на скорость звука оказывает влияние также и плотность используемого топлива. Очевидно, что с увеличением плотности скорость звука будет также увеличиваться. Для анализа динамики роста или уменьшения скорости звука в ТВС в зависимости от плотности (ρ) топлива и давления (P) в ТВС, был произведен расчёт с изменением $\rho = 900 - 990$ кг/м³, и $P = 0 - 88$ МПа (рис. 6).

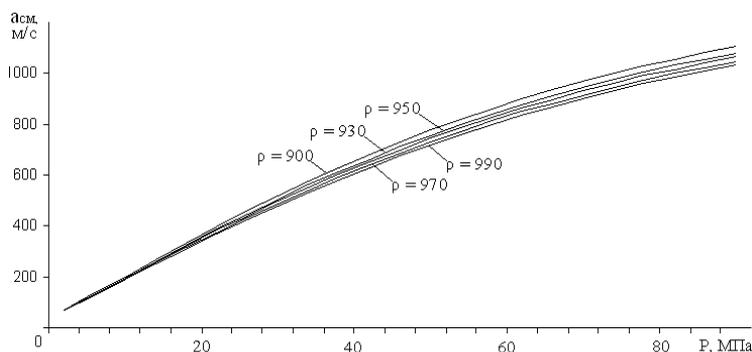


Рис. 5. Зависимость скорости звука в ТВС от плотности топлива и давления ТВС.

Из расчетов следует, что при малых давлениях (до 10 МПа) влияние плотности топлива на скорость звука не существенно, однако наблюдается его плавное и стабильное увеличение с ростом давления свыше 20 МПа.

Так при $p = 20$ МПа увеличение плотности топлива на каждые 20 кг/м³ приводит к увеличению скорости звука в среднем на 7 м/с; при $p = 40$ МПа - 13 м/с; при $P = 80$ МПа – 18 м/с.

Выводы

Выполнена предварительная оценка влияния добавки воздуха на характеристики распыливания ТВС. Показано, что с увеличением доли воздуха в смеси существенно возрастает объём факела распыленного топлива.

Составлена математическая модель, алгоритм и программа для имитационного моделирования транспортных свойств ТВС.

Проведен расчёт и анализ зависимости характеристик ТВС, влияющих на гидродинамику топливоподачи, от давления при различном составе ТВС и плотности «чистого» топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- И.В. Астахов, Л.Н. Голубков, В.И. Трусов и др. Топливные системы и экономичность дизелей - М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.
- Вихерт М. М., Мазинг М.В. Топливная аппаратура автомобильных дизелей: Конструкция и параметры.- М.: Машиностроение, 1978 - 176 с.