

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ПРОПАНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ ГАЗОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛНЫ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ГОРЕНИЯ ПРИ УЧЕТЕ КОЭФФИЦИЕНТА ДИФфуЗИИ

*Кабиров М. М. – к.ф.-м.н., доцент кафедры информатика и ИС
Российско-Таджикского (Славянского) университета.*

*Гулбоев Б. Дж. – к.ф.-м.н., ст.преп. кафедры математики и физики
Российско-Таджикского (Славянского) университета*

Баротов А. С. аспирант ТНУ

Данная работа посвящена исследованию влияния состава пропано-воздушной смеси газов на характеристики волны фильтрационного горения при учете коэффициента диффузии недостающего компонента. Исследование проводится для симметрического и асимметрического распределения температуры пористой среды и концентрации недостающего компонента, а также для некоторых значений скорости вдува смеси в пористый блок. Симметрические и асимметрические распределения характеризуется коэффициентом подобия a . При $a=1$ распределения температуры и концентрации симметричны, в противном случае асимметричны и это условие называется условием подобия полей температуры и концентрации. Данное условие для модели фильтрационного горения газами получено в работе [1], в результате сравнения уравнения сохранения энергии пористой среды и массы недостающего компонента смеси. Эти уравнения в безразмерном виде приводятся ниже и записаны в системе координат движущейся вместе с фронтом горения

$$\begin{aligned} \frac{d\theta}{dx'} &= \frac{d^2\theta}{dx'^2} + A \cdot \bar{J}, & A &= \frac{\rho_1 k_0 L}{\rho_{10}(u_{10} + U)} \\ \frac{dn}{dx'} &= a \frac{d^2n}{dx'^2} - A \cdot \bar{J}, & \bar{J} &= n \exp\left(-\frac{E}{R(T_0 + \theta(T_e - T_0))}\right), \\ \rho_1(T_0 + \theta(T_e - T_0)) &= \rho_{10} T_0, \end{aligned} \quad (1)$$

где $x = x'L$, $T = T_0 + \theta(T_e - T_0)$, $\eta = n\eta_{10}$, $T_e = T_0 + \frac{Q\eta_0}{c_p u_\varphi}$, $a = Le_{eff} u_\varphi$, $Le_{eff} = \frac{Le}{\Lambda}$.

$$Le = \frac{D\rho_{10}^0 c_p}{\lambda_1}, \quad \Lambda = 1 + \frac{\alpha_2 \lambda_2}{\alpha_1 \lambda_1}, \quad u_\varphi = 1 + \frac{\varphi}{1 + u_0}, \quad \varphi = \frac{\rho_2 c_2}{\rho_{10} c_p}, \quad u_0 = \frac{v_{10}}{U}.$$

Здесь T - температура среды; T_0 - начальная температура среды; η - массовая концентрация компонентов газовой смеси; η_0 - та же величина в исходном состоянии; Q - тепловой эффект реакции; c_p - теплоемкость газа при постоянном давлении; D - коэффициент диффузии недостающего компонента смеси; L - характерный размер; T_e - равновесная температура; U_{10} - скорость потока газа в порах; ρ_{10} , c_p - приведенная плотность и теплоёмкость смеси газов соответственно; ρ_2 , c_2 - те же величины для пористой среды; λ_1 , λ_2 - коэффициенты теплопроводности газа и пористой среды соответственно; α_1 ,

α_2 - объёмные содержания газа и пористой среды соответственно; ρ_{10}^0 - исходная плотность смеси; U - скорость распространения волны горения; x' , θ , n - безразмерные координата, температура и концентрация соответственно.

В случае $a = 1$ коэффициенты при производных в первом и втором уравнениях системы (1) совпадают и, как следствие этого, находятся линейная связь между безразмерной температурой θ и относительной концентрацией недостающего компонента n

$$\theta = 1 - n.$$

В отличие от классической теории горения газов условие подобия при ФГГ получается не при $Le = 1$, а при относительно сложном выражении $a = Le_{eff} u_\varphi = 1$. Это условие наряду с коэффициентами диффузии недостающего компонента смеси и температуропроводности пористой среды содержат и другие параметры (Λ , φ , u_0) волны горения.

Расчеты характеристик волны горения пропанно-воздушной смеси производятся по соотношению [1]

$$(u_{10} + U)^2 = k_0 \exp(-1/\beta) \frac{\bar{\gamma}^{-2} a \lambda_1 \Lambda}{\rho_{10}^0 c_p u_\varphi} \cdot \frac{T_0}{T_e} \cdot \frac{1}{1 + \gamma} \quad (2)$$

Здесь $\bar{\gamma} = \frac{\gamma}{a}$; $\gamma = \frac{RT_e^2}{E(T_e - T_0)}$ - число Зельдовича; $\beta = \frac{RT_e}{E}$ - безразмерная энергия

активации; R - универсальная газовая постоянная; E - энергия активации; k_0 - предэкспоненциальный коэффициент.

Для учёта влияние состава смеси на характеристики волны в научной литературе вводится коэффициент избытка топлива ϕ , который представляет собой нормированное отношение количество горючего к количеству окислителя [2,3]

$$\phi = \frac{\eta_f / (1 - \eta_f)}{(\eta_f / (1 - \eta_f))_{st}} \quad (3)$$

Здесь $(\eta_f / (1 - \eta_f))_{st}$ - стехиометрическое отношение количество горючего к количеству окислителя при полном окислении первого до образования CO_2 и H_2O ; η_f - объёмное содержание горючего в смеси. При горении пропано-воздушной смеси и $\phi < 1$ недостающим компонентом смеси является пропан, следовательно для каждого исходного значения концентрации пропана η_{f0} по соотношению (2) определяется скорость распространения волны U , а по формуле (3) коэффициент избытка топлива ϕ .

Произведенные расчеты показывают, что кривая зависимости $U(\phi)$ имеет минимум при $\phi = 1$, как в классической теории горения газов. Однако, кривая располагается не симметрично относительно этой точки ($\phi = 1$). При $\phi > 1$ наблюдается медленное уменьшение скорости волны в сравнении со скоростью для $\phi < 1$ (рис. 1), что соответствует медленному спаду равновесной температуры. Такое поведение кривой наблюдается при всех значениях коэффициента подобия a . На рис.1 замечаем, что с увеличением коэффициента подобия a (0,5; 1; 10) кривая зависимости $U(\phi)$ смещается вверх при фиксированном значении скорости вдува ($u_{10} = 0,52$ м/с). Это означает уменьшение скорости распространения волны горения для всех составов смеси, что приводит к уменьшению равновесной температуры, которая больше адиабатической. Отметим, что положительные значения скорости волны (рис.1) соответствует встречному потоку (субадиабатическая температура), а отрицательные - спутному (сверхадиабатическая) [4].

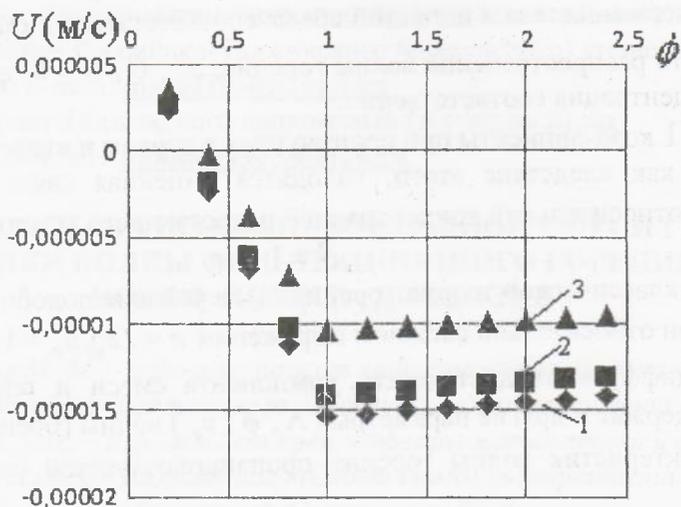


Рис. 1. Кривые зависимости скорости волны от коэффициента избытка топлива при различных значениях коэффициента подобия: 1 - 0,5, 2 - 1, 3 - 10; $v_{10} = 0,52$ м/с .

Для выяснения влияния скорости вдува на скорость волны нами произведены расчеты по соотношению (1) для всех составов смеси и некоторым значениям коэффициента подобия. На рисунке 2 наблюдаем, что скорость волны растет при увеличении скорости вдува (0,52; 0,79; 1,5 м/с) на всем интервале значений ϕ . Такое изменение скорости волны при варьировании скорости вдува имеет место для всех рассмотренных коэффициентов подобия ($a = 0,5; 1; 10$). Заметим, что при увеличении коэффициента подобия преимущественно реализуется спутный поток в сравнении со встречным потоком.

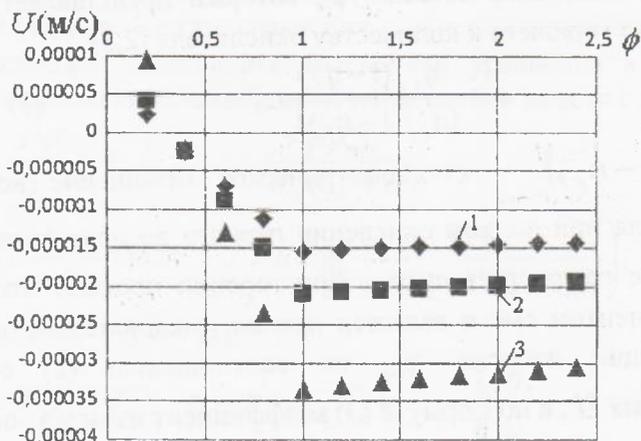


Рис. 2. Кривые зависимости скорости волны от коэффициента избытка топлива при различных значениях скорости вдува и коэффициента подобия $a = 0,5$: $v_{10} = 0,52; 0,79; 1,5$ м/с .

Условие подобия связывает коэффициент диффузии компонента со скоростью волны [5]

$$D = \frac{a\lambda_1\Lambda}{\rho_{10}^0 c_p (1 + \phi / (1 + v_{10}/U))} \quad (3)$$

Это соотношение дает возможность определить коэффициент диффузии компонент для соответствующих значений скорости волны U и коэффициента подобия a . Кроме того замечаем, что D является функцией нормированной скорости вдува $u_0 = v_{10}/U$. Из (3) делаем вывод, что D обратно пропорциональна величине $u_\phi = 1 + \phi / (1 + v_{10}/U)$. Насколько эта величина меньше единицы, настолько увеличивается коэффициент диффузии. В таком

соотношение находится равновесная температура, то есть при сверхadiaбатической температуре (в спутном потоке) коэффициент диффузии больше в сравнении с её значением в субadiaбатической температуре.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кабилов М.М. Фильтрационное горение газов при симметричности профилей температуры пористой среды и концентрации компонентов газовой смеси / Кабилов М.М., Гулбоев Б.Дж. // Доклады Академии наук Республики Таджикистан, 2013. – Т.56, №1. – С. 35-43.
2. Добрега К.В., Жданок С.А. Физика фильтрационного горения газов / Добрега К.В., Жданок С.А. // Минск: Ин-т тепло- и массообмена им. А.В.Лыкова НАНБ, 2002, - 203 с.
3. Какуткина Н.А. Фильтрационное горение газов / Какуткина Н.А., Коржавин А.А., Мбравва М. // Физика горения и взрыва, 2006. –Т.42, № 4. – С. 8-20.
4. Какуткина Н.А. Закономерности распространения пламени через насадку коммуникационных огнепреградителей / Н.А.Какуткина, А.А.Коржавин, И.Г.Намятов, Д.А.Рычков // Физика горения и взрыва. – 2007. – Т.43. – №4. – С. 23-37.
5. Гулбоев Б.Дж., Горение метановоздушной смеси в инертной пористой среде при диффузии компонентов / Гулбоев Б.Дж., Кабилов М.М. // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук – 2013 - №1/1(102) – С. 91-96.

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ПРОПАНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ ГАЗОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛНЫ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ГОРЕНИЯ ПРИ УЧЕТЕ КОЭФФИЦИЕНТА ДИФФУЗИИ

Кабилов Маруф Махмудович: к.ф.-м.н., доцент кафедры «Информатика и ИС» Российско-Таджикского (Славянского) университета.

Гулбоев Бахтиёр Джуракулович: к.ф.-м.н., ст.преп. кафедры «Математики и физики» Российско-Таджикского (Славянского) университета.

Баротов Алишер Сафарбекович: аспирант ТНУ

Аннотация. В статье рассмотрено влияние состава пропано-воздушной смеси газов на характеристики волны фильтрационного горения с учетом коэффициента диффузии недостающего компонента. Установлено, что кривая зависимости скорости распространения волны от коэффициента избытка топлива имеет минимум при стехиометрической смеси для произвольного значения коэффициента подобия полей температуры и концентрации. Однако, относительно точки минимума кривая несимметрична, то есть при избытке пропана в смеси наблюдается медленное уменьшение скорости волны в сравнении со скоростью для случая её недостатка в смеси. С увеличением коэффициента подобия скорость волны уменьшается для всех составов смеси. Расчеты показывают, что скорость волны возрастает при увеличении скорости вдува для всех составов смеси.

Ключевые слова: волна, состав смеси, коэффициент диффузии, избытка топлива, скорость вдува, коэффициент подобия.

INFLUENCE OF THE COMPOSITION OF PROPANO-AIR MIX OF GASES ON THE CHARACTERISTICS OF THE WAVE OF FILTERING COMBUSTION WHEN TAKING INTO ACCOUNT THE DIFFUSION FACTOR

Kabilov Maruf Makhmudovich, Bakhtiyor Dzhurakulovich Gulboev, Barotov Alisher

Abstract. The article considers the influence of the composition of the propane-air mixture of gases on the characteristics of filtration-burning waves, taking into account the diffusion coefficient of the missing component. It has been established that the curve of the dependence of the wave propagation velocity on the fuel excess coefficient has a minimum for a stoichiometric mixture for an arbitrary value of the similarity coefficient for the temperature and concentration fields. However, relative to the minimum point, the curve is asymmetrical, that is, at an excess of propane in the mixture, a slow decrease in the wave velocity is observed in comparison with the velocity for the case of its smallness in the mixture. With an increase in the similarity coefficient, the wave velocity decreases for all

compositions of the mixture. Calculations show that the wave velocity increases with increasing blowing velocity for all mixtures.

Key words: wave, mixture composition, diffusion coefficient, excess fuel, blowing speed, coefficient of similarity.

Сведение об авторах

Кабилев Маруф Махмудович: к.ф.-м.н., доцент кафедры «Информатика и ИС» Российско-Таджикского (Славянского) университета. Тел.: 939198960. E-mail: maruf1960@mail.ru

Гулбоев Бахтиёр Джуракулович: к.ф.-м.н., ст. преп. кафедры «Математики и физики» Российско-Таджикского (Славянского) университета. Тел.: 918353489. E-mail: bakhtiyor2012@mail.ru

Баротов Алишер Сафарбекович: аспирант 1-года обучения Таджикского национального университета. Тел.: 985878791.