

ВЛИЯНИЕ ПОРИСТОЙ ПОЛИУРЕТАНОВОЙ ПЕРЕГОРОДКИ НА ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТОКА И НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ФРОНТА ПЛАМЕНИ В ОТКРЫТОМ КАНАЛЕ

Ф.С. Кулешов¹
С.В. Головастов¹
Г.Ю. Бивол²

theodoro2000@gmail.com
golovastov@yandex.ru
grigorij-bivol@yandex.ru

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

² ОИВТ РАН, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Экспериментально изучено влияние пористой полиуретановой перегородки на параметры потока и распространение фронта пламени перед перегородкой при инициировании у открытого конца канала. Скорости фронта пламени определялись в водородно-воздушной смеси при атмосферном давлении в открытом с обеих сторон канале с внутренним диаметром 20 мм. Варьировалось соотношение между водородом и воздухом, так что мольный избыток водорода изменялся от 0,3 (ультрабедная смесь) до 1,0 (стехиометрический состав). Размер пор варьировался в пределах 0,3...2,5 мм, чему соответствовало число пор на дюйм в диапазоне 10–80. Коэффициенты гидравлического сопротивления полиуретановой перегородки с открытым типом пор в зависимости от размера пор и толщины перегородки вычислены по величине потери давления при прохождении потока воздуха через пористый элемент. Скорость фронта пламени определена с использованием теневого метода и высокоскоростной съемки. По результатам экспериментов установлено, что оптимальное значение толщины пористой перегородки, после которого полиуретановая перегородка начинает проявлять фильтрационные свойства, в большинстве случаев примерно равно удвоенному размеру пор. Показано, что коэффициент сопротивления линейно зависит от общей толщины перегородки. При этом дефицит скорости потока при увеличении толщины

Ключевые слова

Гидравлическое сопротивление, пористый полиуретан, горение, водород, дефицит скорости

возрастает по степенному закону. Показано качественное соответствие скорости фронта пламени перед пористой перегородкой и дефицита скорости потока

Поступила 02.11.2021
Принята 18.02.2022
© Автор(ы), 2022

Работа выполнена по программе Госзадания № 075-01056-22-00

Введение. В настоящее время при развитии водородной энергетики проблема обеспечения взрывобезопасности газов чрезвычайно актуальна. Подавление горения в газовых средах может достигаться несколькими способами, имеющими различные принципиальные механизмы воздействия на фронт горения или детонацию. Следует отметить тепловые способы подавления горения, основанные на теплоотводе из области горения [1, 2]. Наиболее эффективно такой способ теплоотвода реализуется путем использования перфорированных пластин или пористых сред, которые характеризуются высокой эффективной площадью контакта с газовой средой [3, 4]. При наличии пористого покрытия боковых стенок канала происходит подавление режима детонации за счет теплоотвода и поперечного смещения массы нагретых продуктов горения внутрь пористого слоя [3, 5]. Поперечное смещение продуктов горения приводит к дополнительному снижению скорости толкающего газа и к ослаблению интенсивности детонационной волны.

Немаловажным критерием является теплопроводность твердого каркаса. При недостаточной интенсивности теплоотвода пористый каркас или перфорированная пластина могут стать турбулизаторами потока непрореагировавшей смеси и фронта горения, вызывая значительное ускорение фронта пламени [6, 7].

В настоящей работе изучено влияние пористого полиуретана с открытым типом пор на динамику фронта пламени в открытом канале. Каркас из пористого полиуретана отличается низкой теплопроводностью (0,15...0,25 Вт/(м·К)) по сравнению с металлическими каркасами. Воздействие такого каркаса на динамику горения может быть неоднозначным и приводить как к замедлению фронта горения, так и к его ускорению.

Пористость материала — один из основных факторов, влияющих на его фильтрационную и, следовательно, пропускную способность. Вопрос пропускной и фильтрационной способностей пористых материалов активно изучается в связи с необходимостью использования указанных свойств в технике и на производстве [8, 9]. Пористость определяет количество вещества, которое может содержаться в некотором объеме пористой среды [10]. Величина m называется коэффициентом пористости образца и определяется формулой:

$$m = V_{\text{пор}} / V = LS_{\text{пор}} / (SL) = S_{\text{пор}} / S,$$

где V , S — объем и площадь поперечного сечения однородного пористого материала; $V_{\text{пор}}$, $S_{\text{пор}}$ — объем и сумма площадей поперечных сечений пор; L — длина образца.

Существует множество работ по определению фильтрационной способности пористых материалов. Анализ большого объема существующих результатов приведен в [11]. Коэффициенты гидравлического сопротивления некоторых материалов представлены в [12]. Однако в большинстве существующих работ изучена фильтрационная способность материалов в потоках жидкости [13, 14]. При этом к хорошо изученным материалам не относится пористый полиуретан.

Большинство работ по исследованию динамики фронта пламени проведено в закрытых и полужакрытых каналах. В таких системах расширение продуктов горения приводит к вытеснению непрореагировавшей смеси, поэтому в закрытых и полужакрытых каналах при исследовании горения внутри пор необходимо учитывать поток смеси и теплообмен в условиях этого потока.

Для того чтобы уменьшить влияние турбулизации потока предварительно смешанной негоревшей смеси на процесс горения, иницирование осуществлялось вблизи открытого конца канала. Таким образом, продукты горения перед фронтом пламени незначительно влияли на негоревшую смесь так, что ее скоростью можно было пренебречь. Другой конец трубки также был открыт, чтобы избежать образования отраженных ударных волн, воздействующих на фронт пламени. Эксперименты проводили в водородно-воздушных смесях.

Цель работы — определить влияние размера пор и толщины перегородки на ускорение фронта пламени в открытом канале для обедненной ($ER < 1$) и стехиометрической ($ER = 1$) смеси водорода с воздухом при начальном атмосферном давлении, где ER — мольный избыток водорода; вычислить значения коэффициента гидравлического сопротивления образцов пористого полиуретана и определить зависимости толщины пористой перегородки от этого коэффициента.

Экспериментальные установки. Методики измерений. *Установка для определения скорости фронта пламени.* Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Открытая труба состоит из двух секций. Цилиндрическая труба, в которой расположены искровой разрядник, трубка для подачи заранее приготовленной смеси водорода с воздухом и шаровой кран. Внутренний диаметр трубы и шарового крана 20 мм.

Искровой разрядник расположен на расстоянии 145 мм от открытого конца трубы. Цилиндрическая труба соединена с диагностической секцией прямоугольного сечения, боковые стенки которой выполнены из стекла. Это позволяло регистрировать процесс распространения пламени теньевым методом с использованием теневого прибора ИАБ-451 с ножом Фуко и высокоскоростной камеры *Phantom VEO 710S*. Размеры сечения канала 20 × 16 мм, расстояние между стеклами 20 мм. При такой конфигурации диагностической секции площади сечения различались на 6 мм², что составляет менее 2 % среднего значения сечения каналов. Перегородка 1 из пористого полиуретана установлена в диагностической секции так, чтобы расстояние от переднего края перегородки до начала секции составляло 60 мм. Толщина перегородки варьировалась в пределах 10...90 мм.

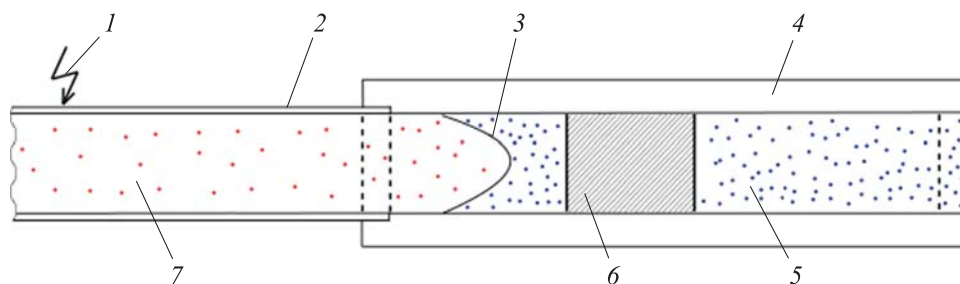


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для определения скорости фронта пламени в канале с пористой перегородкой:

- 1 — искровой разрядник; 2 — цилиндрическая трубка; 3 — фронт пламени;
- 4 — диагностическая секция прямоугольного сечения; 5 — горючая газовая смесь;
- 6 — пенополиуретановая перегородка с заданным значением толщины и пористости;
- 7 — продукты горения

Смесь водорода с воздухом заранее приготавливали в сосуде объемом 3 л под действием парциального давления с использованием образцового манометра. Максимальное давление в сосуде 0,7 МПа, перемешивание смеси осуществляли бесщеточным вентилятором, установленным внутри сосуда. Трехкратный объем смеси при закрытом шаровом кране продували через открытую трубку. Затем шаровой кран открывали, и горючую смесь снова подавали в канал. Вследствие ненулевого гидравлического сопротивления пористой вставки смесь наполняла левую часть канала от искрового разрядника до открытого конца. После наполнения при открытом шаровом кране осуществляли поджиг смеси искровым разрядником энергией около 0,1 Дж. Ширина стеклянных окон позволяла регистрировать сегмент прямоугольного канала длиной 150 мм. Непрерывная подсветка осуществ-

лялась автомобильной лампой мощностью 35 Вт. Скорость регистрации высокоскоростной камерой *Phantom VEO 710S* составляла 300... 60 000 кадр/с, выдержка — 3 мкс, размер кадра 896 × 80 точек.

Установка для определения коэффициента гидравлического сопротивления. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 2. Исследования проводили в канале квадратного сечения (72 × 72 мм). Поток воздуха создавали насосом. Стенки воздухозаборника канала выполнены в форме лемнискаты Бернулли, что способствовало устранению завихрений в воздушном потоке [15].

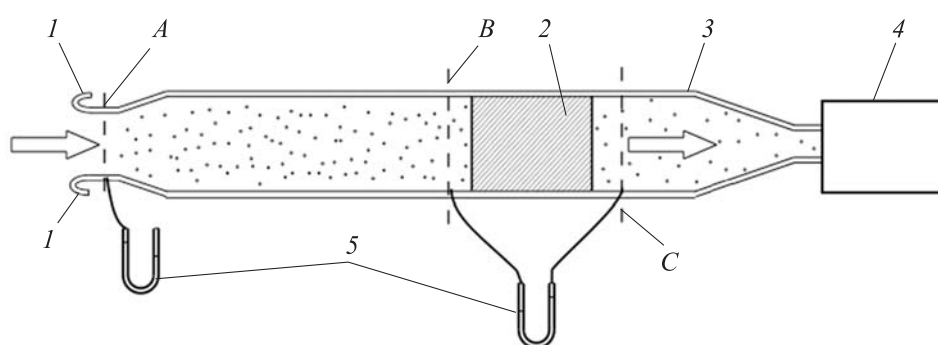


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для определения коэффициента гидравлического сопротивления:

- 1 — стенки воздухозаборника; 2 — пенополиуретановая перегородка с заданным значением толщины и пористости; 3 — канал квадратного сечения;
4 — насос; 5 — U-образные водяные манометры;
стрелками показано направление движения воздушного потока

В эксперименте с использованием U-образных водяных манометров измерено давление p_A в окрестности сечения A и разность давления Δp вблизи сечений B и C. В качестве рабочей жидкости в манометрах использована дистиллированная вода комнатной температуры.

Выбранный метод исследования пропускной способности пористой перегородки предполагает расчет коэффициента гидравлического сопротивления [12]:

$$\zeta = \frac{2\Delta p}{\rho u_B^2},$$

где ρ — плотность воздуха; u_B^2 — скорость воздушного потока вблизи сечения B. Следует отметить, что плотность воздуха можно полагать постоянной во всем канале 3 вследствие низких скоростей потока: менее 0,2 M (M — число Маха).

Для расчета коэффициента гидравлического сопротивления введем скорость u_A , равную скорости воздушного потока в окрестности сечения A :

$$u_A = \sqrt{\frac{2(p_0 - p_A)}{\rho}}.$$

Здесь p_0 — давление атмосферы вблизи сечения A . Тогда скорость u_B можно найти из условия постоянства потока газа вдоль всего канала: $\rho u_A S_A = \rho u_B S_B$, S_A , S_B — площади поперечных сечений A и B . Поскольку плотность воздуха постоянна в канале, можно записать

$$u_A S_A = u_B S_B, \quad u_B = u_A \frac{S_A}{S_B}.$$

Получаем

$$u_B = \sqrt{\frac{2(p_0 - p_A)}{\rho}} \frac{S_A}{S_B}. \quad (1)$$

Окончательно

$$\zeta = \frac{\Delta p}{p_0 - p_A} \frac{S_A^2}{S_B^2}.$$

Результаты экспериментов. *Скорость фронта пламени в канале перед пористой перегородкой.* Теневые фотографии взаимодействия фронта пламени для смеси $ER = 0,4$ с пористой полиуретановой перегородкой (10 ррi) толщиной 60 мм приведены на рис. 3, а. Скорость фронта пламени перед пористым элементом составляет в среднем около 0,5...0,6 м/с, что соответствует скорости ламинарного горения смеси при данном соотношении компонентов [16]. Средние значения скорости фронта пламени в канале перед пористой перегородкой для $ER = 0,4-1,0$, которые измерены на расстоянии 16 мм от лицевой поверхности перегородки (соответствует высоте канала), приведены на рис. 3, б. Скорость фронта пламени в непосредственной близости от перегородки убывает с увеличением толщины перегородки. Так, если в пустом канале (толщина перегородки равна нулю) скорость фронта пламени для стехиометрической смеси ($ER = 1$) достигает значения более 10 м/с, то в канале с перегородкой толщиной 60 мм скорость фронта пламени для этой же смеси составляет менее 10 м/с.

На основании этого можно сделать вывод о существовании зависимости коэффициента гидравлического сопротивления перегородки от ее толщины. В случае бесконечно большой толщины поток перед фронтом

пламени будет неподвижным. В рассматриваемом случае минимальное значение скорости фронта пламени окажется равным скорости ламинарного нормального горения. Эти значения показаны на рис. 3, б горизонтальными линиями. Незначительное превышение (20...30 %) обусловлено ростом возмущений на фронте пламени, вызванным преимущественно термоакустической неустойчивостью. При зажигании смеси у открытого конца трубки действием расширяющихся продуктов горения можно пренебречь, в свою очередь, рост возмущений гидродинамической неустойчивости Дарье — Ландау определяется коэффициентом расширения продуктов горения.

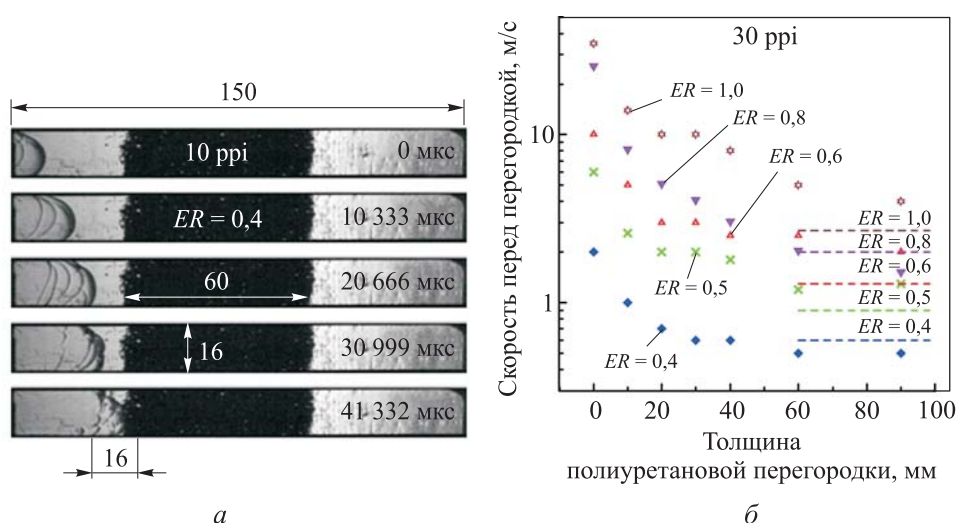


Рис. 3. Теневые фотографии фронта пламени (а) и зависимость скорости фронта пламени от толщины перегородки (б)

Значения, определяющие обратный дефицит скорости фронта пламени для каналов с перегородками 10 и 30 ppi, приведены на рис. 4. Дефицит скорости δ_v определяется как отношение изменения скорости фронта пламени в канале с перегородкой к скорости в пустом канале. Оси на рис. 4 являются логарифмическими, вследствие чего прямые линии на графиках соответствуют степенному характеру изменения зависимости обратного значения дефицита скорости от толщины перегородки. Такой характер присущ всем используемым составам смесей. Интерполяционные прямые имеют своим продолжением среднее значение нулевой толщины пористой перегородки, при которой действие этой перегородки еще не проявляется. В обоих случаях эта толщина соответствует удвоенному размеру пор: $5,0 \pm 1,5$ мм для материала с 10 ppi (рис. 4, а), $1,7 \pm 0,7$ мм для материала с 30 ppi (рис. 4, б).

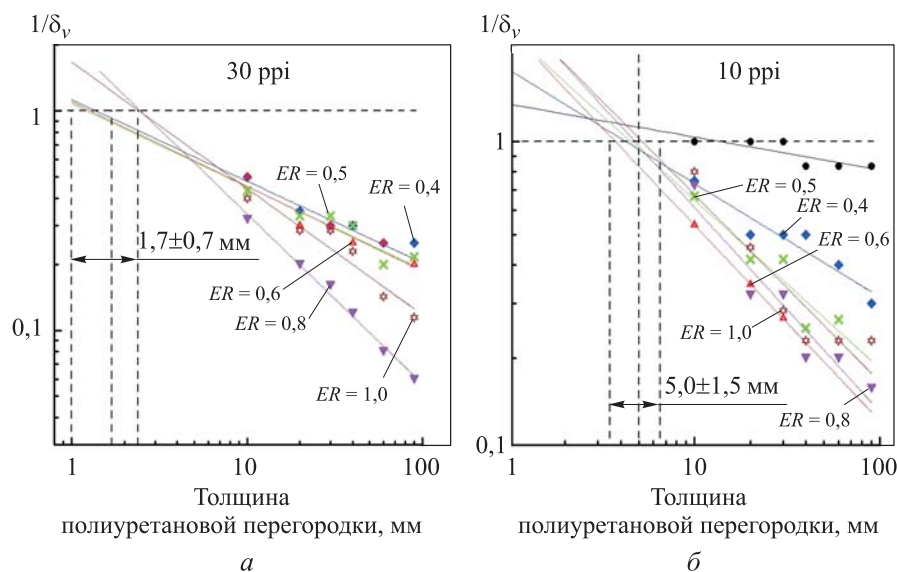


Рис. 4. Зависимость обратного значения дефицита скорости фронта пламени от толщины перегородки при 10 (а) и 30 ppi (б)

Коэффициент гидравлического сопротивления пористой перегородки. Определив скорость u_B по (1) при различных значениях толщины перегородки и, следовательно, различных значениях давления, вычислим значения числа Рейнольдса в области до пористой перегородки вблизи сечения B для всех полиуретановых образцов по формуле

$$Re = S_{B} u_{B} \rho / \eta,$$

где η — динамическая вязкость вещества, для воздуха $\eta = 1,85 \cdot 10^{-5}$ Н·с/м² при температуре 25 °С. Таким образом, эксперимент проведен в диапазоне значений $Re = 1600-2100$, что позволяло пренебречь законом Дарси для фильтрации вязкой среды.

В ходе серии экспериментов получены данные, позволяющие определить коэффициент гидравлического сопротивления полиуретановых перегородок различной пористости: 10, 30, 45, 80 ppi. Для каждого значения пористости рассмотрены перегородки толщиной 10...80 мм, что позволяет изучить зависимость пропускной способности полиуретановых перегородок от их толщины. Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления полиуретана от толщины перегородки приведена на рис. 5, а. Коэффициент гидравлического сопротивления линейно возрастает с увеличением толщины перегородки, что соответствует полученным результатам (см. рис. 3). Причем тангенс угла наклона прямой существенно возрастает с увеличением пористости, что также соотносится с полученными результатами.

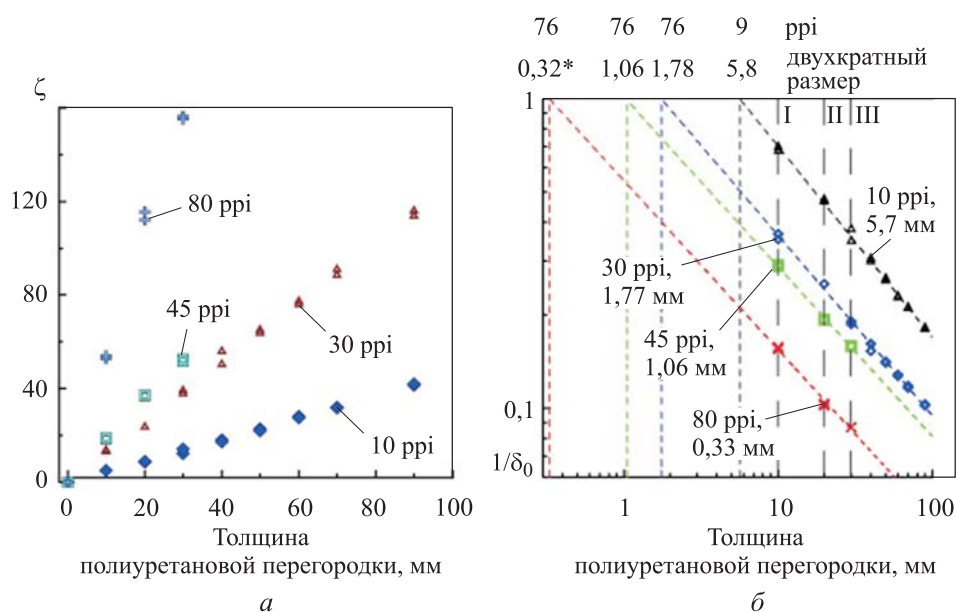


Рис. 5. Зависимости коэффициента гидравлического сопротивления перегородки (а) и обратного значения дефицита скорости потока (б) от ее толщины

Зависимость обратного значения дефицита скорости потока от толщины пористой перегородки приведена на рис. 5, б. Дефицит скорости определяется как отношение разности скорости перед перегородкой и за ней к значению скорости перед перегородкой:

$$\delta_v = \frac{u_C - u_B}{u_B} = \frac{S_B}{S_A} \sqrt{\frac{\Delta P}{P_0 - P_A} + \frac{S_B^2}{S_A^2}} - 1.$$

Согласно данным на рис. 4, б, такая зависимость для всех типов пористых перегородок имеет степенной характер и на рис. 5, б (оси логарифмические) может быть представлена в виде прямой линии. При этом эффективная «нулевая» толщина перегородки также соответствует удвоенному значению диаметра поры, кроме перегородки с мелким размером пор (80 ppi). Для этого материала «нулевая» толщина равна однократному размеру пор (см. рис. 5, б, отмечено *). Таким образом, можно предположить, что эффективное действие пористых перегородок по повышению гидравлического сопротивления потока проявляется при толщине, не меньшей удвоенного значения размера поры. Эти значения в полной мере соответствуют значениям, полученным из данных на рис. 4, б.

Выводы. Приведены результаты исследования динамики фронта пламени в прямоугольном канале в области перед полиуретановой пере-

городкой. Установлено, что при иницировании у открытого конца канала скорость фронта снижается с увеличением толщины перегородки до значений, близких к скорости ламинарного горения. Это обусловлено линейным ростом коэффициента гидравлического сопротивления материала при увеличении толщины перегородки.

Определены зависимости коэффициента гидравлического сопротивления пористого полиуретана от размера пор и толщины перегородки. Показано, что величина, обратная значению дефицита скорости потока и скорости фронта пламени, имеет степенной характер.

Показано, что существует конечное значение толщины перегородки, выше которой она начинает проявлять фильтрационные свойства. Установлено, что для большинства перегородок (10, 30, 45 μm) это значение равно удвоенному значению диаметра поры; для перегородки с 80 μm эта толщина равна размеру одной поры.

На основании проведенного исследования можно сделать вывод о том, что при достаточном значении пористости и больших толщинах полиуретан способен замедлять скорость распространения фронта пламени, что является положительным свойством для материалов, используемых в сфере взрывобезопасности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Какуткина Н.А., Коржавин А.А., Намятов И.Г. и др. Закономерности распространения пламени через насадку коммуникационных огнепреградителей. *Физика горения и взрыва*, 2007, т. 43, № 4, с. 23–38.
- [2] Palmer K.N., Tonkin P.S. The quenching of flames of various fuels in narrow apertures. *Combust. Flame*, 1963, vol. 7, pp. 121–127.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0010-2180\(63\)90169-X](https://doi.org/10.1016/0010-2180(63)90169-X)
- [3] Головастов С.В., Самойлова А.А., Александрова Д.М. Оценка тепловых потерь на фронте детонационной волны при движении вдоль металлической пористой поверхности. *Аэрокосмический научный журнал*, 2016, т. 2, № 5, с. 1–15.
DOI: <https://doi.org/10.7463/aersp.0516.0849886>
- [4] Wan Y., Wang C., Li Q., et al. Experimental study of premixed hydrogen-air flame quenching in a channel with the perforated plate. *Fuel*, 2020, vol. 263, art. 116733.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116733>
- [5] Головастов С.В., Бивол Г.Ю., Александрова Д.М. Снижение ударно-волнового воздействия, вызванного тангенциальным прохождением детонационной волны, с помощью пористых покрытий. *Машиностроение и компьютерные технологии*, 2018, № 2, с. 37–49. DOI: 10.24108/0218.0001369
- [6] Li Q., Sun X., Lu S., et al. Experimental study of flame propagation across a perforated plate. *Int. J. Hydrogen Energy*, 2018, vol. 43, iss. 17, pp. 8524–8533.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.03.079>

- [7] Liu H., Wu D., Xie M., et al. Experimental and numerical study on the lean premixed filtration combustion of propane/air in porous medium. *Appl. Therm. Eng.*, 2019, vol. 150, pp. 445–455. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.12.155>
- [8] Александров А.А., Девисилов В.А., Шарай Е.Ю. Численное исследование течения жидкости между проницаемыми вращающимися цилиндрическими поверхностями. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2020, № 1 (88), с. 32–45. DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/1812-3368-2020-1-32-45>
- [9] Алексеев М.В., Судобин Н.Г., Кулешов А.А. и др. Математическое моделирование термомеханического поведения непроницаемой пористой среды. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2020, № 4 (91), с. 4–23. DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/1812-3368-2020-4-4-23>
- [10] Новикова В.С., Сергеев О.В., Криволапов И.П. и др. Пористость как основной показатель, определяющий фильтрационную способность органического материала. *Наука и образование*, 2018, т. 1, № 1. URL: <http://opusmgau.ru/index.php/see/article/download/301/301>
- [11] Куршин А.П. Закономерности изменения проницаемости пористых сред при фильтрационных течениях. *Ученые записки ЦАГИ*, 2008, т. 39, № 1-2, с. 125–135.
- [12] Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М., Машиностроение, 1992.
- [13] Жижкин А.М., Лазуткин Г.В., Брылева М.А. и др. Влияние структуры пористого материала МР на его расходные характеристики. *Вестник СамГУПС*, 2017, № 4, с. 16–24.
- [14] Аношкин Ю.И., Добров А.А., Легчанов М.А. и др. Экспериментальные исследования гидравлического сопротивления вставок из упруго-пористого проволоочного материала в канале круглого сечения. *Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева*, 2019, № 1, с. 92–99. DOI: https://doi.org/10.46960/1816-210X_2019_1_92
- [15] Кабанник С.Н., Цимбалюк В.А. Аэродинамическое усовершенствование стенда для исследования решеток профилей при больших углах натекания дозвукового потока. *Вісник двигунобудування*, 2015, № 2, с. 160–164.
- [16] Dahoe A.E. Laminar burning velocities of hydrogen–air mixtures from closed vessel gas explosions. *J. Loss Prev. Process Ind.*, 2005, vol. 18, iss. 3, pp. 152–166. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2005.03.007>

Кулешов Федор Сергеевич — студент кафедры «Физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Головастов Сергей Викторович — канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Бивол Григорий Юрьевич — канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник лаборатории физической газовой динамики ОИВТ РАН (Российская Федерация, 125412, Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Кулешов Ф.С., Головастов С.В., Бивол Г.Ю. Влияние пористой полиуретановой перегородки на гидравлические характеристики потока и на распространение фронта пламени в открытом канале. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2022, № 3 (102), с. 110–123.

DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2022-3-110-123>

**INFLUENCE OF A POROUS POLYURETHANE PARTITION
ON HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF THE FLOW
AND ON FLAME FRONT PROPAGATION IN AN OPEN CHANNEL**

F.S. Kuleshov¹

theodoro2000@gmail.com

S.V. Golovastov¹

golovastov@yandex.ru

G.Yu. Bivol²

grigorij-bivol@yandex.ru

¹ **Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation**

² **Joint Institute of High Temperatures, Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russian Federation**

Abstract

The purpose of the research was to experimentally study the influence of a porous polyurethane partition on the flow parameters and on the flame front propagation in front of the partition upon initiation at the open end of the channel. The flame front velocities were determined in a hydrogen-air mixture at atmospheric pressure in a channel open on both sides with an inner diameter of 20 mm. The ratio between hydrogen and air was varied, so that the molar excess of hydrogen varied from 0.3 (ultra-poor mixture) to 1.0 (stoichiometric composition). The pore size varied within 0.3–2.5 mm, which corresponded to the number of pores per inch in the range of 10–80. The coefficients of hydraulic resistance of a polyurethane partition with an open pore type, depending on the size of the pores and the thickness of the partition, were calculated from the pressure loss when the air flow passes through the porous element. The flame front velocity was determined using the shadow method and high-speed survey. Findings of the research show that the optimal value of the thickness of the porous partition, after which the polyurethane partition begins to show filtration properties, in most cases is approximately equal to twice the pore size

Keywords

Hydraulic resistance, porous polyurethane, combustion, hydrogen, deficit of velocity

and the drag coefficient depends linearly on the total thickness of the partition. In this case, the deficit of the flow velocity with increasing thickness increases according to a power law. A qualitative correspondence between the flame front velocity in front of the porous partition and the flow velocity deficit is shown

Received 02.11.2021

Accepted 18.02.2022

© Author(s), 2022

The work was carried out according to the program of the State Assignment no. 075-01056-22-00

REFERENCES

- [1] Kakutkina N.A., Korzhavin A.A., Namyatov I.G., et al. Flame propagation through the header of an in-line flame arrester. *Combust. Explos. Shock Waves*, 2007, vol. 43, no. 4, pp. 391–404. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10573-007-0054-x>
- [2] Palmer K.N., Tonkin P.S. The quenching of flames of various fuels in narrow apertures. *Combust. Flame*, 1963, vol. 7, pp. 121–127. DOI: [https://doi.org/10.1016/0010-2180\(63\)90169-X](https://doi.org/10.1016/0010-2180(63)90169-X)
- [3] Golovastov S.V., Samoylova A.A., Aleksandrova D.M. Evaluation of heat losses behind the front of the detonation moving along the metallic porous surface. *Aerokosmicheskiy nauchnyy zhurnal [Aerospace Scientific Journal]*, 2016, vol. 2, no. 5, pp. 1–15 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7463/aersp.0516.0849886>
- [4] Wan Y., Wang C., Li Q., et al. Experimental study of premixed hydrogen-air flame quenching in a channel with the perforated plate. *Fuel*, 2020, vol. 263, art. 116733. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116733>
- [5] Golovastov S.V., Bivol G.Yu., Aleksandrova D.M. Reducing the tangentially propagated detonation wave action through porous coatings. *Mashinostroenie i komp'yuternye tekhnologii [Mechanical Engineering and Computer Science]*, 2018, no. 2, pp. 37–49 (in Russ.). DOI: 10.24108/0218.0001369
- [6] Li Q., Sun X., Lu S., et al. Experimental study of flame propagation across a perforated plate. *Int. J. Hydrogen Energy*, 2018, vol. 43, iss. 17, pp. 8524–8533. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.03.079>
- [7] Liu H., Wu D., Xie M., et al. Experimental and numerical study on the lean premixed filtration combustion of propane/air in porous medium. *Appl. Therm. Eng.*, 2019, vol. 150, pp. 445–455. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.12.155>
- [8] Aleksandrov A.A., Devisilov V.A., Sharai E.Yu. Numerical investigation of fluid flow between rotating permeable cylindrical surfaces. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*, 2020, no. 1 (88), pp. 32–45 (in Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/1812-3368-2020-1-32-45>
- [9] Alekseev M.V., Sudobin N.G., Kuleshov A.A., et al. Mathematical simulation of thermomechanics in an impermeable porous medium. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*, 2020, no. 4 (91), pp. 4–23 (in Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/1812-3368-2020-4-4-23>

[10] Novikova V.S., Sergeev O.V., Krivolapov I.P., et al. The porosity as the main indicator determining the filtration ability of organic material. *Nauka i obrazovanie*, 2018, vol. 1, no. 1 (in Russ.).

Available at: <http://opusmgau.ru/index.php/see/article/download/301/301>

[11] Kurshin A.P. Regularities of changes in permeability of porous media with filtration flows. *Uchenye zapiski TsAGI*, 2008, vol. 39, no. 1-2, pp. 125–135 (in Russ.).

[12] Idelchik I.E. *Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam* [Handbook on hydraulic resistance]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1992.

[13] Zhizhkin A.M., Lazutkin G.V., Bryleva M.A., et al. Influence of MR porous material structure on its consumption characteristics. *Vestnik SamGUPS*, 2017, no. 4, pp. 16–24 (in Russ.).

[14] Anoshkin Yu.I., Dobrov A.A., Legchanov M.A., et al. Experimental studies on the hydraulic resistance of inserts made of elastic-porous wire material in a circular channel. *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva*, 2019, no. 1, pp. 92–99 (in Russ.).

DOI: https://doi.org/10.46960/1816-210X_2019_1_92

[15] Kabannik S.N., Tsimbalyuk V.A. Aerodynamic improvement of test rig for investigation of blade cascade at large incidence angles of subsonic flow. *Visnik dvigunobuduvannya*, 2015, no. 2, pp. 160–164 (in Russ.).

[16] Dahoe A.E. Laminar burning velocities of hydrogen-air mixtures from closed vessel gas explosions. *J. Loss Prev. Process Ind.*, 2005, vol. 18, iss. 3, pp. 152–166.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2005.03.007>

Kuleshov F.S. — Student, Department of Physics, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Golovastov S.V. — Cand. Sc. (Phys.-Math.), Assoc. Professor, Department of Physics, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Bivol G.Yu. — Cand. Sc. (Phys.-Math.), Senior Researcher, Laboratory of Physical Gas Dynamics, Joint Institute of High Temperatures, Russian Academy of Sciences (Izhorskaya ul. 13, Moscow, 125412 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Kuleshov F.S., Golovastov S.V., Bivol G.Yu. Influence of a porous polyurethane partition on hydraulic characteristics of the flow and on flame front propagation in an open channel. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*, 2022, no. 3 (102), pp. 110–123 (in Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2022-3-110-123>