

С. В. ПУЗАЧ, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, начальник кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина; e-mail: puzachsv@mail.ru)

О. С. ЛЕБЕДЧЕНКО, канд. юрид. наук, доцент, доцент кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: ol-26@mail.ru)

УДК 614.841.4

РАСПОЛОЖЕНИЕ ВЗРЫВО- И ПОЖАРООПАСНЫХ УЧАСТКОВ ВОДОРОДНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ ПО ВЫСОТЕ КОНВЕКТИВНОЙ КОЛОНКИ, ОБРАЗУЮЩЕЙСЯ НАД ИСТОЧНИКОМ НАТЕКАНИЯ ВОДОРОДА В ПОМЕЩЕНИЕ

Предложена математическая модель расчета распределения средних по сечению концентраций водорода по высоте конвективной колонки, образующейся над источником его натекания в помещение. Показано, что расход воздуха, вовлекаемого в колонку, определяется с использованием угла полураскрытия колонки. Из анализа результатов сопоставления расчетов по предложенной модели с экспериментальными данными, приведенными в литературных источниках, получена зависимость угла полураскрытия от числа Фруда. Представлены результаты численных экспериментов по определению зависимостей высоты начала и окончания участков колонки от уровня источника натекания водорода, приходящихся на пожаро- и взрывоопасные водородно-воздушные смеси, от числа Рейнольдса на выходе из отверстия, через которое водород поступает в помещение. Показано, что при турбулентном режиме истечения угол полураскрытия колонки и безразмерные длины пожаро- и взрывоопасной зон практически не зависят от числа Рейнольдса.

Ключевые слова: водород; водородно-воздушная смесь; конвективная колонка; взрывоопасная зона; пожароопасная зона.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.18-24

Введение

Прогнозированию динамики образования и развития локальных пожаро- и взрывоопасных зон в водородно-воздушной смеси, образующейся при натекании водорода в помещение, посвящено большое количество работ [1–9]. Однако из-за сложности протекающих турбулентных процессов тепломассообмена задача до конца не решена.

В соответствии с [10] коэффициент участия водорода в горении и взрыве может быть рассчитан на основе характера распределения газа в объеме помещения и принимается $Z_h = 1$ (по табл. А.1 [10]).

При натекании водорода в помещение для определения длин участков колонки, приходящихся на горючие и взрывоопасные водородно-воздушные смеси, необходимо рассчитать концентрационные поля. В общем случае эта задача является существенно нестационарной и трехмерной [3] и требует численного решения исходной системы уравнений.

Однако существует ряд модельных задач, из которых можно аналитически определить распреде-

ление концентрации при натекании водорода в помещение. Например, в работе [11] аналитически решена задача для одномерной стационарной концентрационной диффузии водорода в воздухе, в статье [12] — для случая ламинарной или турбулентной конвекции на горизонтальной поверхности, через которую натекает водород, при ее обдуве потоком воздуха.

В настоящей работе рассматривается модельная задача распространения водорода в области конвективной колонки, образующейся над источником его натекания в помещение.

В отличие от работы [1], где в уравнении изменения расхода водородно-воздушной смеси по высоте конвективной колонки расход воздуха, вовлекаемого в колонку, определяется с использованием эмпирического коэффициента подмешивания, в аналогичном уравнении в настоящей статье задается угол полураскрытия колонки.

В работе [2] также рассматривается подобная задача, но при ее решении не учитывается подсос воздуха в колонку.

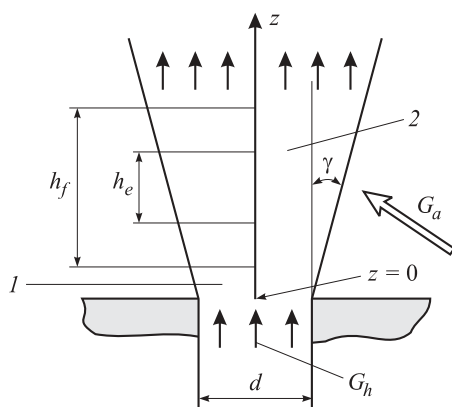


Рис. 1. Условная схема газодинамической картины при натекании водорода в помещение: 1 — отверстие; 2 — конвективная колонка

Постановка задачи

Условная схема газодинамической картины при натекании водорода в помещение представлена на рис. 1. На рисунке приняты следующие обозначения: z — координата вдоль высоты конвективной колонки, отсчитываемая от уровня выходного сечения отверстия, через которое водород поступает в помещение, м; γ — угол полуоткрытия конвективной колонки, град; G_h — массовый расход водорода, поступающего через отверстие в помещение, кг/с; G_a — массовый расход воздуха, подмешивающегося в конвективную колонку, кг/с; d — диаметр отверстия, через которое водород поступает в помещение, м; h_f и h_e — длина соответственно пожароопасного ($X_{f1} \leq X_h \leq X_{f2}$) и взрывоопасного ($X_{e1} \leq X_h \leq X_{e2}$) участков конвективной колонки; X_h — средняя по поперечному сечению колонки на высоте z массовая концентрация водорода; X_{f1} и X_{f2} — нижний и верхний концентрационные пределы горения соответственно; X_{e1} и X_{e2} — нижний и верхний концентрационные пределы детонации соответственно.

Через отверстие 1 происходит поступление водорода с расходом G_h из емкости в помещение. Под действием подъемных сил и перепада давлений в емкости с водородом и помещении над источником натекания образуется конвективная колонка 2, в которую подмешивается окружающий воздух с переменным по высоте z расходом G_a .

Математическая модель

Рассматриваем течение водородно-воздушной смеси внутри конвективной колонки как стационарное, одномерное и изотермическое. Принимаем, что в каждом сечении колонки параметры газовой смеси задаются осредненными по сечению значениями.

Массовый расход G (кг/с) водородно-воздушной смеси, проходящей через поперечное сечение конвективной колонки на высоте z , определяется как

$$G = G_h + G_a = \rho_m w_z F, \quad (1)$$

где ρ_m — средняя плотность водородно-воздушной смеси на высоте z , кг/м³;

w_z — проекция средней скорости на ось z на высоте z , м/с;

F — площадь поперечного сечения колонки на высоте z , м².

Массовый расход G можно также представить в виде:

$$G = G_h / X_h. \quad (2)$$

Площадь поперечного сечения колонки в форме круга на высоте z составляет:

$$F = \pi(d/2 + z \operatorname{tg} \gamma)^2. \quad (3)$$

Уравнение движения в одномерном стационарном случае при переменной площади поперечного сечения колонки имеет вид [13]:

$$d/dz (\rho_m w_z^2 F + pF) = p (dF/dz), \quad (4)$$

где p — давление воздуха на высоте z , Па.

Градиент давления по высоте

$$dp/dz = -\rho_a g, \quad (5)$$

где ρ_a — плотность воздуха, кг/м³;

g — ускорение свободного падения, м/с².

Используя уравнение состояния водородно-воздушной смеси [14] и выразив газовую постоянную смеси через массовые концентрации компонентов [14], дифференциальное уравнение (4) в случае постоянства температуры и давления смеси с использованием уравнений (1)–(3) и (5) можно привести к виду:

$$\begin{aligned} \frac{dX_h}{dz} = & \left[\frac{B}{X_h (\mu_a - \mu_h) + \mu_h} - \rho_a \right] \times \\ & \times \frac{g (d/2 + z \operatorname{tg} \gamma)^4}{A [\mu_a - \mu_h + 2\mu_h/X_h]} - \\ & - \frac{2 \operatorname{tg} \gamma [(\mu_a - \mu_h) X_h - \mu_h]}{(d/2 + z \operatorname{tg} \gamma) [\mu_a - \mu_h + 2\mu_h/X_h]} + \\ & + \frac{2p_0 (d/2 + z \operatorname{tg} \gamma)^3 \operatorname{tg} \gamma X_h^2}{A [\mu_a - \mu_h + 2\mu_h/X_h]}, \end{aligned} \quad (6)$$

где B — размерный параметр, кг²/(м³·кмоль);

$B = p_0 \mu_h \mu_a / (R_\mu T)$;

p_0 — давление воздуха на высоте $z = 0$, Па;

μ_a, μ_h — молярные массы соответственно воздуха и водорода, кг/кмоль;

R_μ — универсальная газовая постоянная, Дж/(кмоль·К);

T — температура воздуха, К;

A — размерный параметр, м³·кмоль/с²; $A = \frac{G_h^2}{\pi^2 B}$.

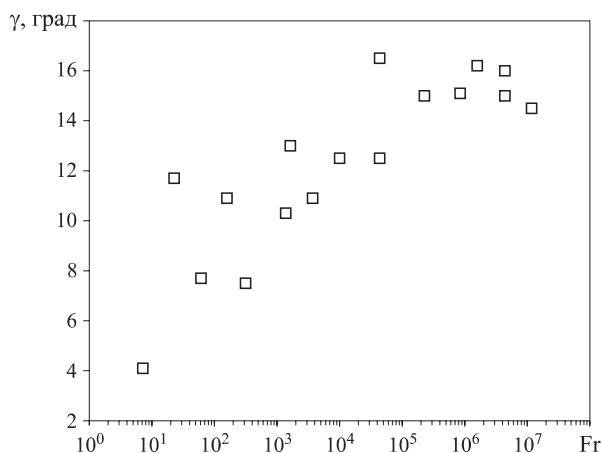


Рис. 2. Зависимость угла полуоткрытия конвективной колонки от числа Фруда

Дифференциальное уравнение (6) решено численным методом Рунге – Кутты 4-го порядка точности [15].

Результаты тестовых расчетов

Для определения заранее неизвестного угла полуоткрытия конвективной колонки, входящего в дифференциальное уравнение (6), были проведены тестовые расчеты.

Угол γ подбирался таким образом, чтобы при решении уравнения (6) начало пожароопасного участка конвективной колонки соответствовало экспериментальным данным [2].

При этом в соответствии с работой [16] (переводя объемные доли водорода в массовые)

$$X_{f1} = 0,0029; X_{f2} = 0,164; X_{e1} = 0,0149; X_{e2} = 0,087.$$

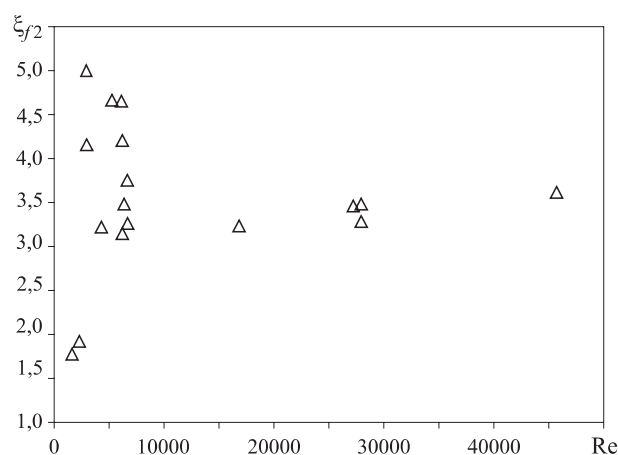


Рис. 3. Зависимость безразмерной координаты ξ_{f2} до поперечного сечения колонки, в котором средняя массовая концентрация водорода равна верхнему концентрационному пределу горения, от числа Рейнольдса Re : $Re = \rho_h w_o d / \mu_h$; ρ_h — плотность водорода на срезе отверстия, kg/m^3 ; μ_h — коэффициент кинематической вязкости водорода, $kg/(m \cdot s)$; $\xi_{f2} = z_{f2}/d$; z_{f2} — координата по оси z до поперечного сечения колонки, где $X_h = X_{f2}$

На рис. 2 представлена зависимость угла полуоткрытия конвективной колонки от числа Фруда ($Fr = w_o^2 / (gd)$, где w_o — вертикальная проекция скорости водорода на срезе отверстия l (см. рис. 1), m/s), представленного в логарифмической координате.

Из рис. 2 видно, что величина γ в турбулентной области течения находится в пределах $10-17^\circ$, что соответствует экспериментальным данным по углу полуоткрытия конвективной колонки при пожаре [17] и распространении водорода [18].

Результаты расчетов

При решении уравнения (6) использовались значения угла полуоткрытия конвективной колонки, полученные из тестовых расчетов (см. рис. 2).

На рис. 3–6 представлены зависимости безразмерных высот поперечных сечений конвективной

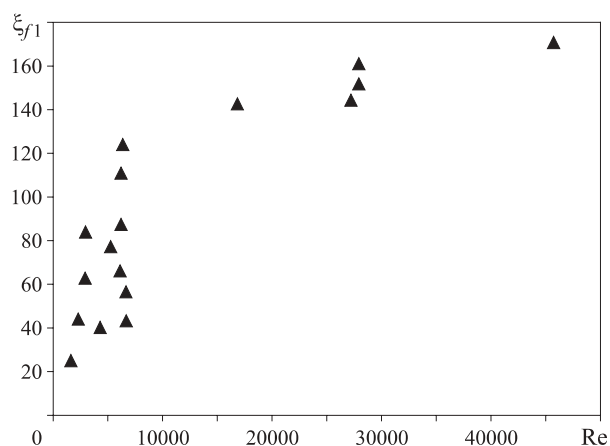


Рис. 4. Зависимость безразмерной координаты ξ_{f1} до поперечного сечения колонки, в котором средняя массовая концентрация водорода равна нижнему концентрационному пределу горения, от числа Рейнольдса; $\xi_{f1} = z_{f1}/d$; z_{f1} — координата по оси z до поперечного сечения колонки, где $X_h = X_{f1}$

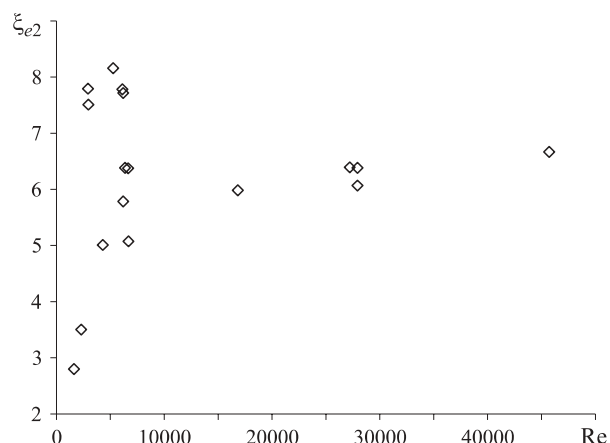


Рис. 5. Зависимость безразмерной координаты ξ_{e2} до поперечного сечения колонки, в котором средняя массовая концентрация водорода равна верхнему концентрационному пределу детонации, от числа Рейнольдса; $\xi_{e2} = z_{e2}/d$; z_{e2} — координата по оси z до поперечного сечения колонки, где $X_h = X_{e2}$

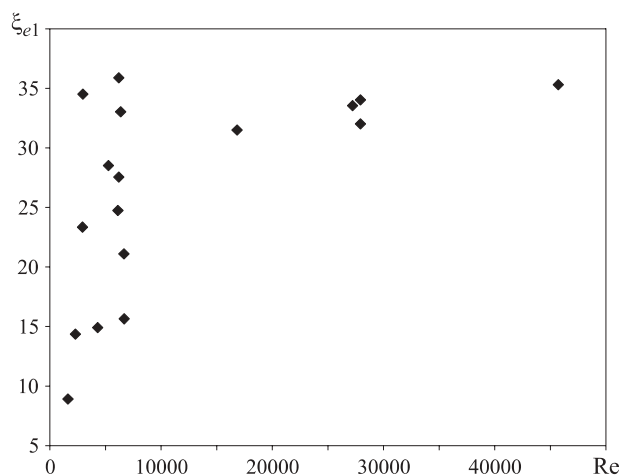


Рис. 6. Зависимость безразмерной координаты ξ_{e1} до поперечного сечения колонки, в котором средняя массовая концентрация водорода равна нижнему концентрационному пределу детонации, от числа Рейнольдса; $\xi_{e1} = z_{e1}/d$; z_{e1} — координата по оси z до поперечного сечения колонки, где $X_h = X_{e1}$

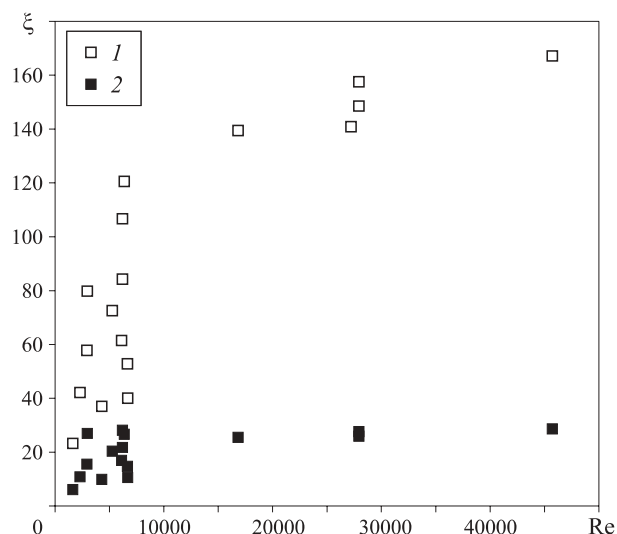


Рис. 7. Зависимости безразмерных длин пожароопасных (1) и взрывоопасных (2) участков водородно-воздушной смеси, находящейся внутри конвективной колонки: 1 — $\xi = h_f/d$; 2 — $\xi = h_e/d$

колонки, ограничивающих пожаро- и взрывоопасные участки водородно-воздушной смеси.

Зависимости безразмерных длин пожаро- и взрывоопасных участков водородно-воздушной смеси, находящейся внутри конвективной колонки, приведены на рис. 7.

Из рис. 3–7 видно, что:

- при ламинарном ($Re < 2300$) и переходном ($2300 < Re < 10^4$) режимах истечения струи водорода из отверстия безразмерные координаты по высоте пожаро- и взрывоопасных участков конвективной колонки существенно зависят от числа Рейнольдса;
- при турбулентном режиме истечения ($Re > 10^4$) происходит стабилизация расположения и размеров пожаро- и взрывоопасных участков.

В случае турбулентного режима истечения безразмерная длина пожароопасной зоны составляет $\xi_f = h_f/d = 141 \div 167$, а безразмерная длина взрывоопасной зоны — $\xi_e = h_e/d = 25,1 \div 28,7$.

Выводы

Безразмерные размеры взрыво- и пожароопасных зон водородно-воздушной смеси по высоте конвективной колонки, образующейся над источником натекания водорода в помещение, а также угол полураскрытия конвективной колонки при ламинарном и переходном режимах течения на выходе из отверстия, через которое водород поступает в помещение, существенно зависят от расхода водорода и эквивалентного диаметра вышеуказанного отверстия.

При турбулентном режиме истечения безразмерные размеры вышеуказанных зон и угол полураскрытия конвективной колонки практически постоянны.

Для более точной оценки распространения водорода в конвективной колонке необходимо учитывать трехмерную нестационарную конвекцию, возникающую при испарении водорода в помещение, например, по методу расчета, предложенному в [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевяков Г. Г., Савельева Н. И. Распространение и горение струи водорода в открытой атмосфере // Международный научный журнал “Альтернативная энергетика и экология” (ISJAEE). — 2004. — № 1(9). — С. 23–27.
2. Домашенко А. М. Проблемы взрывобезопасности при создании и эксплуатации промышленных систем хранения и транспортирования жидкого водорода. Стандарты // Первый всемирный конгресс “Альтернативная энергетика и экология” (WCAEE). — 2006. — С. 29–38.
3. Puzach S. V. Some features of formation of local combustible hydrogen-air mixtures during continuous release of hydrogen in a room // International Journal of Hydrogen Energy. — 2003. — Vol. 28, No. 9. — P. 1019–1026. DOI: 10.1016/s0360-3199(02)00165-9.
4. Горев В. А. О концентрационных пределах распространения пламени в системе *водород – воздух* // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 12. — С. 23–26.

5. Agrawal N., Velusamy K., Das S. K. A method to characterize mixing and flammability of hydrogen-air mixtures in enclosures // *International Journal of Hydrogen Energy*. — 2011. — Vol. 36, No. 19. — P. 12607–12617. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2011.06.116.
6. Vollmer K. G., Ettner F., Sattelmayer T. Deflagration-to-detonation transition in hydrogen/air mixtures with a concentration gradient // *Combustion Science and Technology*. — 2012. — Vol. 184, No. 10-11. — P. 1903–1915. DOI: 10.1080/00102202.2012.690652.
7. Rubtsov N. M., Seplyarskii B. S. Concentration limits of combustion in rich hydrogen-air mixtures in the presence of inhibitors // *Mendeleev Communications*. — 2010. — Vol. 20, No. 5. — P. 296–298. DOI: 10.1016/j.mencom.2010.09.020.
8. Dorofeev S. B., Sidorov V. P., Dvornishnikov A. E., Breitung W. Deflagration to detonation transition in large confined volume of lean hydrogen-air mixtures // *Combustion and Flame*. — 1996. — Vol. 104, No. 1-2. — P. 95–110. DOI: 10.1016/0010-2180(95)00113-1.
9. Boeck L. R., Berger F. M., Hasslberger J., Sattelmayer T. Detonation propagation in hydrogen-air mixtures with transverse concentration gradients // *Shock Waves*. — 2015. — Vol. 26, Issue 2. — P. 181–192. DOI: 10.1007/s00193-015-0598-8.
10. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. — 34 с.
11. Пузач С. В., Лебедченко О. С., Воробьев Н. С. Модельная задача определения коэффициентов участия водорода в горении и взрыве // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2007. — Т. 16, № 5. — С. 16–18.
12. Пузач С. В., Лебедченко О. С., Болдырев Е. Н. Коэффициенты участия водорода в горении и взрыве при ламинарной и турбулентной конвекции на горизонтальной пластине // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2014. — Т. 23, № 6. — С. 26–30.
13. Годунов С. К., Забродин А. В., Иванов М. Я., Крайко А. Н. Численное решение многомерных задач газовой динамики. — М. : Наука, 1982. — 289 с.
14. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена. — М. : Атомиздат, 1979. — 416 с.
15. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. — М. : Наука, 1968. — 720 с.
16. Баратов А. Н., Корольченко А. Я., Кравчук Г. Н. и др. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. — М. : Химия, 1990. — 496 с.
17. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров / Пер. с англ. К. Г. Бомштейна; под ред. Ю. А. Кошмарова, В. Е. Малькова. — М. : Стройиздат, 1990. — 424 с.
18. Борисов Ю. С. Газотермические покрытия из порошковых материалов : справочник. — Киев : Наукова думка, 1987. — 314 с.

Материал поступил в редакцию 7 октября 2016 г.

Для цитирования: Пузач С. В., Лебедченко О. С. Расположение взрыво- и пожароопасных участков водородно-воздушной смеси по высоте конвективной колонки, образующейся над источником натекания водорода в помещение // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2017. — Т. 26, № 1. — С. 18–24. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.18-24.

English

LOCATION OF EXPLOSION AND FIRE DANGEROUS AREAS OF THE HYDROGEN-AIR MIXTURE ALONG HEIGHT OF CONVECTIVE COLUMN FORMED OVER THE SOURCE OF HYDROGEN LEAKAGE IN THE ROOM

PUZACH S. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Honoured Scientist of the Russian Federation, Head of Thermal Physics and Hydraulic Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: puzachsv@mail.ru)

LEBEDCHENKO O. S., Candidate of Juridical Sciences, Docent, Assistant Professor of Thermal Physics and Hydraulic Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: ol-26@mail.ru)

ABSTRACT

Introduction. During leakage of hydrogen in the room convection column is formed over the source of leakage under the influence of buoyancy forces and the pressure drop between ones in the vessel with hydrogen and in the room. Ambient air is mixed with hydrogen unevenly along vertical axis of the column.

To determine the lengths of the column sections, falling on flammable and explosive dangerous hydrogen-air mixtures, it is necessary to calculate the concentration field. In general, this problem is highly unsteady and three-dimensional and requires a numerical solution of the original system of equations.

In this paper, we consider a model task of hydrogen concentration distribution in the area of the convective column formed over the source of leakage.

Materials and methods. There are used methods of gas dynamics and heat and mass transfer for calculating the parameters of the gas mixture during free convection.

Theory and calculation. A physics and mathematical model for calculating the distribution of average concentrations of hydrogen in the cross section along the height of the convective column during free convection is proposed.

The flow of the hydrogen-air mixture inside the convection column is considered as a steady, one-dimensional and isothermal one.

Air flow involving in the column is determined by using the half-angle of column expansion. In similar articles air flow is calculated using the empirical coefficient of flows mixing.

Results. The dependence between the half-angle of convective column and the Froude number is obtained from comparison the results received by using the proposed model with the experimental data presented in the literature.

There are presented the results of numerical experiments to determine the dependence between the heights of start and end points of the column falling on flammable and explosive hydrogen-air mixtures, and Reynolds number. The turbulent and laminar flow regimes at the exit of the hole through which hydrogen is supplied to the room are considered.

Discussion. In laminar and transitional flow conditions at the exit of the hole through which hydrogen is supplied to the room, the half-angle of the column and the dimensionless length of fire and explosive dangerous zones of the column substantially dependent on hydrogen flow rate and the equivalent diameter of the above mentioned hole.

In the case of turbulent regime above mentioned parameters practically does not depend on the Reynolds number.

Conclusions. In turbulent conditions the dimensionless sizes of fire and explosive dangerous zones and the half-angle of the convection column expansion are practically constant. For a more accurate assessment of the spread of hydrogen in the convection column it must take into account the three-dimensional non-stationary convection that occurs when leakage of hydrogen in the room takes place.

Keywords: hydrogen; hydrogen-air mixture; convective column; explosion dangerous area; fire dangerous area.

REFERENCES

1. Shevyakov G. G., Savelyeva N. I. Hydrogen jet propagation and burning in ambient air. *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAE)*, 2004, no. 1(9), pp. 23–27 (in Russian).
2. Domashenko A. M. Problems of explosion safety in the creation and operation of industrial storage and transportation of liquid hydrogen. Standards. In: *First World Congress "Alternative Energy and Ecology" (WCAEE)*, 2006, pp. 29–38 (in Russian).
3. Puzach S. V. Some features of formation of local combustible hydrogen-air mixtures during continuous release of hydrogen in a room. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2003, vol. 28, no. 9, pp. 1019–1026. DOI: 10.1016/s0360-3199(02)00165-9.
4. Gorev V. A. Flammability limits of premixed for hydrogen-air mixtures. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 12, pp. 23–26 (in Russian).
5. Agrawal N., Velusamy K., Das S. K. A method to characterize mixing and flammability of hydrogen-air mixtures in enclosures. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2011, vol. 36, no. 19, pp. 12607–12617. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2011.06.116.

6. Vollmer K. G., Ettner F., Sattelmayer T. Deflagration-to-detonation transition in hydrogen/air mixtures with a concentration gradient. *Combustion Science and Technology*, 2012, vol. 184, no. 10-11, pp. 1903–1915. DOI: 10.1080/00102202.2012.690652.
7. Rubtsov N. M., Seplyarskii B. S. Concentration limits of combustion in rich hydrogen-air mixtures in the presence of inhibitors. *Mendeleev Communications*, 2010, vol. 20, no. 5, pp. 296–298. DOI: 10.1016/j.mencom.2010.09.020.
8. Dorofeev S. B., Sidorov V. P., Dvoynishnikov A. E., Breitung W. Deflagration to detonation transition in large confined volume of lean hydrogen-air mixtures. *Combustion and Flame*, 1996, vol. 104, no. 1-2, pp. 95–110. DOI: 10.1016/0010-2180(95)00113-1.
9. Boeck L. R., Berger F. M., Hasslberger J., Sattelmayer T. Detonation propagation in hydrogen-air mixtures with transverse concentration gradients. *Shock Waves*, 2015, vol. 26, issue 2, pp. 181–192. DOI: 10.1007/s00193-015-0598-8.
10. *Set of rules 12.13130.2009. Determination of categories of rooms, buildings and external installations on explosion and fire hazard*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009. 34 p. (in Russian).
11. Puzach S. V., Lebedchenko O. S., Vorobyev N. S. A model problem of determining the coefficients of participation of hydrogen in combustion and explosion. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2007, vol. 16, no. 5, pp. 16–18 (in Russian).
12. Puzach S. V., Lebedchenko O. S., Boldyrev E. N. Coefficients of hydrogen combustion and explosion in case of laminar and turbulent convection on a horizontal plate. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 6, pp. 26–30 (in Russian).
13. Godunov S. K., Zabrodin A. V., Ivanov M. Ya., Krayko A. N. *Numerical solution of multi-dimensional tasks of gas dynamics*. Moscow, Nauka Publ., 1982. 289 p. (in Russian).
14. Kutateladze S. S. *Fundamentals of the theory of heat transfer*. Moscow, Atomizdat, 1979. 416 p. (in Russian).
15. Korn G., Korn T. *Mathematical handbook for scientists and engineers*. Moscow, Nauka Publ., 1968. 720 p. (in Russian).
16. Baratov A. N., Korolchenko A. Ya., Kravchuk G. N. et al. *Fire and explosion danger of substances and materials and means of their extinguishing*. Moscow, Khimiya Publ., 1990. 496 p. (in Russian).
17. Drayzdel D. D. *An introduction to fire dynamics*. Chichester, John Wiley and Sons, 1985 (Russ. ed.: Drayzdel D. D. *Vvedeniye v dinamiku pozharov*. Moscow, Stroyizdat, 1990. 424 p.)
18. Borisov Yu. S. *Thermal spray coating powder material. Handbook*. Kiev, Naukova dumka Publ., 1987. 314 p. (in Russian).

For citation: Puzach S. V., Lebedchenko O. S. Location of explosion and fire dangerous areas of the hydrogen-air mixture along height of convective column formed over the source of hydrogen leakage in the room. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 1, pp. 18–24. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.18-24.