

УДК 614.841.113

2310199595v@gmail.com

**ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ СТЕНКИ ДЫМОУДАЛЯЮЩЕГО ОТВЕРСТИЯ
НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ «ПОДДУВА»
ПРИ ПОЖАРЕ В ПОМЕЩЕНИИ**

**THE EFFECT OF THE HEIGHT OF THE WALL
OF THE SMOKE EXHAUST HOLE ON THE OCCURRENCE
OF THE PHENOMENON OF "BLOWING" IN A FIRE IN THE ROOM**

*Илтыбаева В.Г.,
Беляков В.А., кандидат технических наук, доцент,
Носков А.С., доктор технических наук, профессор,
Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, Институт Строительства и Архитектуры, Екатеринбург*

*Itibaeva V.G., Belyakov V.A., Noskov A.S.
Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin,
Institute of Construction and Architecture, Yekaterinburg,*

В научной статье авторами исследованы критические условия перехода расчетного режима работы системы дымоудаления в нерасчетный режим «поддува» для создания расчетного инженерного метода, позволяющего определять параметры системы. Также рассмотрены составляющие явления прохождения через дымоудаляющее отверстие чистого воздуха, за счет действия подъемных сил, из-под припотолочного дымового слоя. Рассмотрен пример помещения с модельной горючей нагрузкой при различных условиях: высоте стенки дымоудаляющего отверстия равной нулю и пренебрежении составляющей скорости дымогазовой смеси, параллельной кровле.

Ключевые слова: дымогазовая смесь, пожар, система дымоудаления, поддув, продукты горения.

In the scientific article, the authors investigated the critical conditions of transition of the design mode of the smoke removal system in the non-calculation mode "boost" to create a design engineering method that allows to determine the parameters of the system. Also, the components of the phenomenon of passing through the smoke-removing hole of clean air, due to the action of lifting forces, from under the near-flood smoke layer are considered. An example of a room with a model combustible load under different conditions is considered: the height of the wall of the smoke-removing hole is zero and the neglect of the speed component of the smoke-gas mixture parallel to the roof.

Keyword: smoke-gas mixture, fire, smoke removal system, feed of air, combustion product.

Введение

Пожары в зданиях и сооружениях – одни из самых распространенных чрезвычайных ситуаций на сегодняшний день, являющиеся причиной большого материального ущерба и, к сожалению, гибели людей.

Причиной печальной статистики этого события является не только открытое пламя и влияние высокой температуры, но и ядовитые, едкие продукты горения.

Во время пожара возникает довольно большая масса горячего газа, который образует дымогазовую колонну.

Путем захвата окружающего воздуха в помещении, масса газа начинает расти и подниматься. Дойдя до потолка, горячий газ создает стратифицированную зону дыма, который по мере роста начинает остывать. Далее, благодаря увеличению плотности, дымовой слой начинает опускаться, заполняя всю площадь помещения с очагом пожара.

Это ядовитое облако дыма значительно затрудняет видимость, вследствие чего процент успешно эвакуированных людей значительно снижается. Независимо от того, что горит или тлеет, в помещении имеется состав недопустимый для дыхания людей. Одним из самых опасных компонентов является угарный газ – СО, при его содержании в воздухе выше 1% наступает глубокая кома либо летальный исход в течение нескольких минут из-за того, что он образует устойчивое соединение с гемоглобином крови, блокируя транспортировку кислорода [1].

Во избежание задымленности помещения применяют системы удаления (СД). Система дымоудаления – система механических и автоматических средств для эффективного удаления дыма и продуктов горения, а также подачи чистого воздуха в определенные места зданий и сооружений во время пожара, для сохранения доступной среды на смежных к очагу пожара участках для работы служб пожаротушения.

По принципу работы выделяются два типа систем дымоудаления:

– Статическая система дымоудаления – предотвращает распространение дыма за счет отключения общеобменной вентиляции. Приточный воздух, путем его ограничения, удерживает, иногда и вовсе гасит пожар, а дымоудаление происходит механическим способом. К примеру, фрамуги оконных проемов или дымовые люки.

– Динамическая система дымоудаления. Принцип состоит в частичном отключении вентиляции во время пожара, для погашения огня разницей давления, с помощью работы вентиляторов и проти-

вожарных клапанов. В динамической системе необходима автоматика дымоудаления, а также нагнетающий приток воздуха в определенные зоны зданий и сооружений, чтобы предотвратить расширение дыма или создать безопасный путь для эвакуации.

Таким образом, система дымоудаления – это одна из основных составляющих безопасности здания. Она помогает не допускать задымления помещения в случае образования пожара, предоставляет приемлемые условия для эвакуации людей, позволяет не допустить повреждения соседних помещений и сокращает общие убытки от возгорания. Поэтому проблеме проектирования систем дымоудаления необходимо уделять достойное внимание.

Эффективность работы системы дымоудаления с естественным побуждением может снижаться из-за явления «поддува». Смысл данного явления заключается в том, что чистый воздух из-под припотолочного дымового слоя, за счет действия подъемных сил, проходит через дымоудаляющее отверстие. При этом явлении уменьшается расход смеси продуктов горения и дыма, удаляемых наружу из помещения через дымоудаляющее отверстие. Это приводит к скоплению дыма на периферии верхней зоны помещения в местах пребывания людей (например, в атриумах, пассажах и т. д.), поэтому явление «поддува» не допускать.

Анализ российских и зарубежных исследований [2-5] показывает, что критические условия перехода расчетного режима работы системы дымоудаления в нерасчетный режим «поддува» исследованы недостаточно для создания надежного инженерного метода, позволяющего определять параметры системы (количество, площадь и высоту расположения дымоудаляющего отверстия). Данные параметры должны исключить возникновение явления «поддува».

В настоящее время, на кафедре гидравлики института строительства и

архитектуры ФГАОУ ВО «УрФУ» проводятся научные исследования по расчетному обоснованию эффективности работы системы дымоудаления с естественным побуждением с учетом явления «поддува» для обеспечения безопасности здания при пожаре [6-8].

Ранее авторами в статье [5] были исследованы составляющие явления «поддува», на примере помещения с модельной горючей нагрузкой при различных условиях:

$$w_{z3} = \sqrt{2g(h + h_0) \frac{\rho_B - \rho_r}{2} + \frac{2p_r}{\rho_r} + w_{z1}^2(1 - \xi)}, \quad (1)$$

где p_r – среднее избыточное давление в припотолочном слое, Па;

ρ_B – плотность холодного воздуха в помещении, кг/м³;

ρ_r – среднеобъемная плотность смеси газов и дыма, кг/м³;

w_{z1} – вертикальная проекция скорости в сечении 1, м/с;

ξ – коэффициент гидравлического сопротивления на участке между сечениями 1 и 3;

h – толщина припотолочного слоя;

h_0 – высота стенки дымоудаляющего отверстия;

- высота стенки дымоудаляющего отверстия равна нулю;

- пренебрежение составляющей скорости дымовой смеси, параллельной кровле.

Условия возникновения режима «поддува»

Применяя уравнение Бернулли, скорость подъема w_{z3} дымовой смеси в выходном сечении дымоудаляющего отверстия составляет [5]:

g – ускорение свободного падения, кг/м².

Вертикальная критическая скорость во входном сечении дымоудаляющего отверстия $w_{z\text{кр}}$, при которой колонна холодного воздуха поднимается на высоту h , составляет:

$$w_{z\text{кр}} \sqrt{2gh}. \quad (2)$$

Для нахождения критической величины температуры припотолочного слоя, при котором начинается явление «поддува», приравняем уравнения (2) и (3), (при установившемся течении $w_{z2} = w_{z3}$).

$$\bar{T}_{г. \text{кр}} = \frac{2 + \bar{h}}{1 + \bar{h}} - \frac{p_r}{\rho_r gh(1 + \bar{h})} - \frac{w_{z1}^2(1 - \xi)}{2gh(1 + \bar{h})}, \quad (3)$$

где $\bar{T}_{г. \text{кр}}$ – безразмерная критическая температура припотолочного слоя;

$$\bar{T}_{г. \text{кр}} = T_{г. \text{кр}}/T_B;$$

$T_{г. \text{кр}}$ – критическая температура припотолочного слоя, К;

T_B – температура холодного воздуха в помещении, К;

\bar{h} – безразмерная высота стенки дымоудаляющего отверстия $\bar{h} = h_0/h$.

Учитывая, что w_{z1} и p_r равны нулю формула (4) принимает вид:

$$\bar{T}_{г. \text{кр}} \frac{2 + \bar{h}}{1 + \bar{h}}. \quad (4)$$

Принимая во внимание уравнения (4) и (5) видно, что поступление холодного воздуха в дымоудаляющее отверстие при естественном побуждении происходит при достаточно высокой температуре

припотолочного слоя. Например, при $w_{z1} = h_0 = p_r = 0$ и $T_B = 293$ К имеем $T_{г. \text{кр}} = 586$ К = 313 °С.

Массовый расход смеси газов и дыма через дымоудаляющее отверстие при одномерном подходе в случае отсутствия «поддува»

$$G \rho_r w_z F_0, \quad (5)$$

где G – массовый расход смеси газов и дыма через дымоудаляющее отверстие, кг/с;

F_0 – площадь дымоудаляющего отверстия, м².

В начале возникновения «поддува» критический массовый расход смеси газов и дыма через дымоудаляющее отверстие составит:

$$G_{\text{кр}} = \rho_r w_{z\text{кр}} F_0, \quad (6)$$

где $G_{кр}$ – критический массовый расход СД, кг/с.

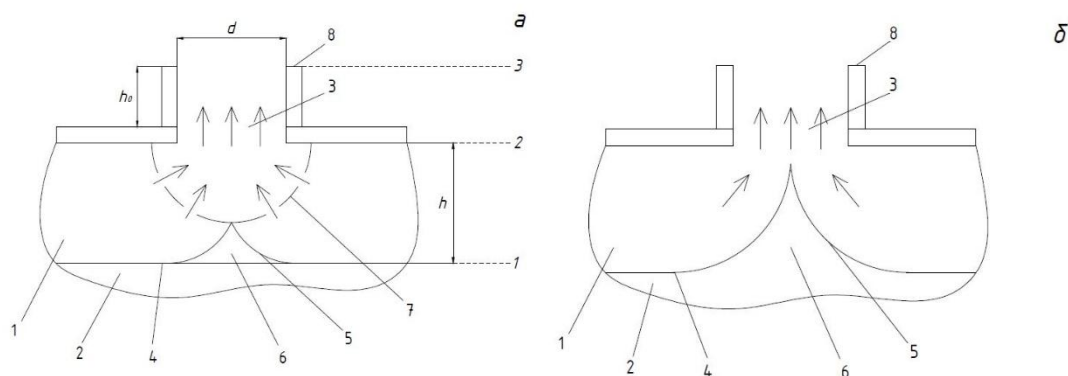


Рисунок 1. Упрощенная схема припотолчного дымового слоя во время работы системы дымоудаления при расчетном режиме (а) и в начале режима «поддува» (б):

- 1 – припотолчный слой; 2 – холодный воздух; 3 – дымоудаляющее отверстие;
- 4 – нижняя граница припотолчного слоя при отсутствии системы дымоудаления;
- 5 – нижняя граница припотолчного слоя при наличии системы дымоудаления;
- 6 – воронка; 7 – полусферическая поверхность; 8 – стенка дымоудаляющего отверстия;
- 1-3 – номера сечений; d – приведенный диаметр дымоудаляющего отверстия; h – толщина припотолчного слоя; h_0 – высота стенки дымоудаляющего отверстия

Используя формулы (4), (5), результаты значений, выведенные в программах [2, 3], а также результаты экспериментальных значений из работы [4] авторами получены следующие графики за-

висимостей безразмерных массовых расходов газовой смеси и безразмерной критической температуры припотолчного слоя.

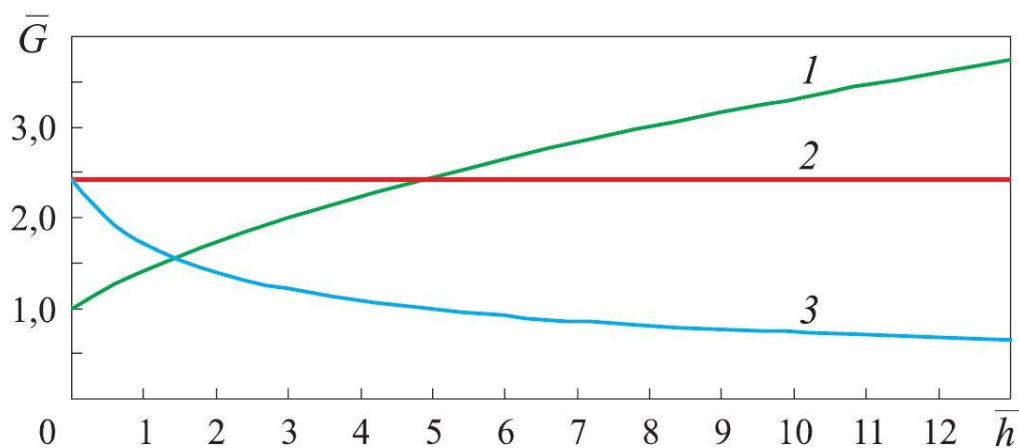


Рисунок 2. Зависимости безразмерных массовых расходов газовой смеси, выходящей из помещения наружу через дымоудаляющее отверстие, от его безразмерной высоты: 1 – G_{h0} / G_0 ; 2 – $G_{кр} / G_0$; 3 – $G_{кр} / G_{h0}$; G_0 – массовый расход при $h_0 = 0$; G_{h0} – массовый расход при $h_0 \neq 0$; \bar{G} – безразмерный расход

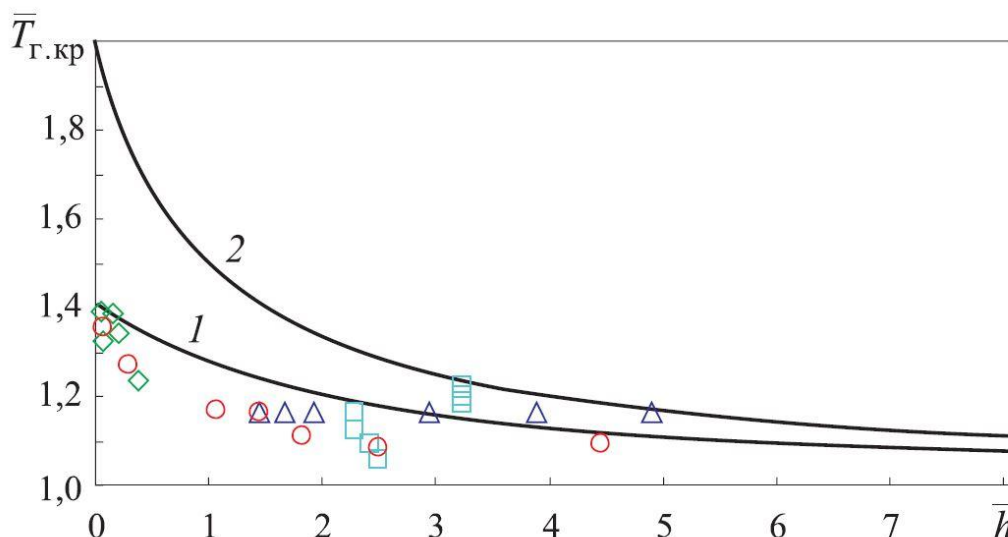


Рисунок 3. Зависимости безразмерной критической температуры припотолочного слоя от безразмерной высоты стенки дымоудаляющего отверстия: расчет: 1 – формула (4); 2 – формула (5); \diamond – полевая модель [2]; \circ – полевая модель [3]; эксперимент: \square , \triangle – данные по [4]

Заключение

На основании результатов проводимых исследований, можно сделать следующие выводы:

1. При безразмерной высоте стенки дымоудаляющего отверстия $h_0 = 4,8$ возникает явление «поддува»: $G_{h_0} = G_{кр}$, т.е. массовый расход при высоте стенки дымоудаляющего отверстия больше нуля, равен критическому массовому расходу СД.

2. Увеличение высоты стенки дымоудаляющего отверстия, не приводит к увеличению расхода удаляемой дымогазовой смеси, так как при этом холодный воздух помещения будет подниматься

выше по дымоудаляющему отверстию, при этом предотвращая поступление дыма и газа из припотолочного слоя.

3. Существует минимальная среднееобъемная температура припотолочного слоя, при которой возникает явление «поддува». Данная температура зависит от таких факторов, как непосредственно высота стенки дымоудаляющего отверстия, толщина дымового слоя, перепад давлений по высоте внутри и снаружи дымоудаляющего отверстия, коэффициента гидравлического сопротивления отверстия и скорость движения частиц дыма и газа в припотолочном слое.

Литература

1. Отравление угарным газом. URL: <https://clck.ru/DfDwk> (дата обращения: 12.07.2018).
2. Пузач С.В. Интегральные, зонные и полевые методы расчета динамики опасных факторов пожара. Свидетельство об официальной регистрации программы № 2006614238 в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам от 8.12.2006 г.
3. McCrattan K., Klein B., Hostikka S., Floyd J. Fire Dynamics Simulator. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Md, USA, 2009.
4. Ji J., Gao Z. H., Fan C. G., Sun J. H. A study of the effect of plug-holing and boundary layer separation on natural ventilation with vertical shaft in urban road tunnels fires. International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 55 (21-22), 2012. pp. 6032-6041.
5. Влияние высоты стенки дымоудаляющего отверстия на возникновение «поддува» при дымоудалении с естественным побуждением / С.В. Пузач, Тхань Тунг До // Пожаровзрывобезопасность. 2014. Т. 23, № 11. С. 46-50.
6. Мобильный диагностический комплекс для оценки технического состояния здания после пожара / О.А. Медведев, В.А. Беляков, А.С. Малков // Новый Уральский строитель. 2012. № 3-4 (117). С. 62.

7. Нанотехнологии для тушения пожаров. Взгляд в будущее / Л.Б. Хорошавин, В.А. Беляков // Сборник трудов II Международной научно-практической конференции: Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях. 2016. С. 193-198.

8. Моделирование газового потока в двухконтурной вихревой трубе Ранка-Хилша / А.С. Носков, А.В. Ловцов, А.В. Хаит // Вычислительная механика сплошных сред. 2012. Т. 5. № 3. С. 313-321.

References

1. Otravleniye ugarnym gazom [elektronnyy resurs]. – URL: <https://clck.ru/DfDwk> . Data obrashcheniya 12.07.2018.

2. Puzach S.V. Integralnyye, zonnnyye i polevyye metody rascheta dinamiki opasnykh faktorov pozhara. Svidetelstvo ob ofitsialnoy registratsii programmy № 2006614238 v Federalnoy sluzhbe po intellektualnoy sobstvennosti, patentam i tovarnym znakam ot 8.12.2006 g.

3. McCrattan K., Klein B., Hostikka S., Floyd J. Fire Dynamics Simulator. National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg. Md. USA. 2009.

4. Ji J., Gao Z. H., Fan C. G., Sun J. H. A study of the effect of plug-holing and boundary layer separation on natural ventilation with vertical shaft in urban road tunnels fires. International Journal of Heat and Mass Transfer. Vol. 55 (21-22). 2012. pp. 6032-6041.

5. Vliyaniye vysoty stenki dymoudalyayushchego otverstiya na vzniknoveniye «podduva» pri dymoudalenii s estestvennym pobuzhdeniyem / S.V. Puzach, Tkhan Tung Do // Pozharovzryvobezopasnost. – Т.23. № 11- 2014. – S. 46-50.

6. Mobilnyy diagnosticheskiy kompleks dlya otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya zdaniya posle pozhara / O.A. Medvedev, V.A. Belyakov, A.S. Malkov // Novyy Uralskiy stroitel. 2012. № 3-4 (117). S. 62.

7. Nanotekhnologii dlya tusheniya pozharov. Vzglyad v budushcheye / L.B. Khoroshavin, V.A. Belyakov // Sbornik trudov II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: Zashchita naseleniya i territoriy v chrezvychaynykh situatsiyakh. 2016. S. 193-198.

8. Modelirovaniye gazovogo potoka v dvukhkoturnoy vikhrevoy trube Ranka-Khilsha / A.S. Noskov, A.V. Lovtsov, A.V. Khait // Vychislitel'naya mekhanika sploshnykh sred. 2012. Т. 5. № 3. S. 313-321.