

Л. П. ВОГМАН, д-р техн. наук, главный научный сотрудник ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: vniipo-3-5-3@ya.ru)

И. А. КОРОЛЬЧЕНКО, д-р техн. наук, доцент, Научно-исследовательский институт проблем хранения Росрезерва (Россия, 111033, г. Москва, Волочаевская ул., 40, корп. 1)

А. В. ХРЮКИН, адъюнкт ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: 79081404888@ya.ru)

УДК 667.661.92

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ САМОВОЗГОРАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ ПАРОВ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ В ВОЗДУХОВОДАХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

На основании результатов лабораторного определения условий теплового самовозгорания отложений образцов паров горючих жидкостей в воздуховодах вентиляционных систем рассчитаны значения критической толщины этих отложений при штатном и аварийном режимах работы вентиляции с учетом несимметричного теплообмена образующегося слоя. Показано влияние температуры, поперечного сечения воздуховода и скорости потока среды в воздуховодах на условия теплового самовозгорания отложений внутри воздуховодов. Установлено, что влияние поперечного сечения воздуховода и скорости потока среды в воздуховодах на условия самовозгорания отложений является несущественным. Показано, что основным лимитирующим фактором самовозгорания отложений в воздуховодах следует считать процесс накопления осаждающихся слоев до критической толщины (с учетом штатных и аварийных условий эксплуатации технологических участков).

Ключевые слова: отложение; самовозгорание; несимметричный теплообмен; пожарная безопасность; воздуховоды вентиляционных систем; период индукции.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.08.34-41

Исследованию процессов теплового самовозгорания посвящено много работ и у нас в стране [1–13], и за рубежом [14–21]. Существенно меньше внимания уделяется условиям самовозгорания в вентиляционных системах. А между тем статистика пожаров, возникших в результате самовозгорания [22], показывает, что задача обеспечения пожарной безопасности, в частности, систем вентиляции в производственных зданиях является весьма актуальной.

Возникновение пожара в вентиляционных системах различных производств опасно тем, что при этом возможно быстрое распространение горения на соседние технологические участки. Подобные пожары могут развиваться в результате самовозгорания отложений, образующихся на внутренней поверхности воздуховодов. При этом температура транспортируемой по трубам среды часто оказывается существенно выше температуры воздуха в помещении с трассировкой воздуховодов. В этих условиях температуры противоположных поверхностей отложений различны и теплообмен накопившегося слоя с окружающей средой несимметричен. Решение задачи определения критических параметров, при которых происходит самовозгорание пластины, и способы расчета условий самовозгорания отложений на поверхности различного оборудования при

несимметричном теплообмене слоя материала описаны в работах [5, 23].

Настоящая работа выполнена в целях апробации новых расчетных методов исследования при решении задач по разработке профилактических мероприятий, обеспечивающих пожарную безопасность воздуховодов вентиляционных систем.

Ранее нами исследовался процесс распространения горения при самовозгорании отложений горючей пыли в условиях несимметричного теплообмена слоя материала [24, 25]. В настоящей работе рассмотрены условия самовозгорания отложений горючих жидкостей в вентиляционных системах.

Результаты экспериментального исследования условий теплового самовозгорания отложений в воздуховодах сушильных установок на участках с использованием эмалей ЭП-140 приведены в работе [26]. Ниже представлены полученные авторами статьи [26] по методике ГОСТ 12.1.044–89 эмпирические зависимости следующего вида:

$$\lg t_c = 1,339 + 0,451 \lg S; \quad (1)$$

$$\lg t_c = 2,429 - 0,354 \lg \tau, \quad (2)$$

где t_c — температура самовозгорания, °С;
 S — удельная площадь поверхности образца, м⁻¹;

$$S = F/V;$$

F — площадь поверхности образца материала, м²;

V — объем образца, м³;

τ — период индукции (до выравнивания температур образца и окружающей среды), ч.

По выражению (1) определены значения температуры самовозгорания для образцов с размерами и формой, используемыми в испытаниях по ГОСТ 12.1.044–89. Необходимые для расчетов значения параметров образцов отложений в вентиляционных системах, соответствующих производственным участкам с использованием эмалей ЭП-140, заимствованы из работы [4]: плотность $\rho = 354$ кг/м³; теплопроводность $\lambda = 0,068$ Вт/(м·К); температуропроводность $a = 2,41 \cdot 10^{-7}$ м²/с; теплоемкость $C_p = 797$ Дж/(кг·К). По этим данным в соответствии с методикой [23] определена энергия активации процесса термоокисления рассматриваемых отложений $E = 49004$ Дж/моль и величина предэкспоненциального комплекса: $Qk_0/\lambda = 1,525 \cdot 10^8$ м·К/кг (где Q — тепловой эффект реакции, Дж/кг; k_0 — константа скорости реакции окисления, с⁻¹).

Ранее отмечалось [27, 28], что тепловой эффект процессов термоокисления, приводящий к самовозгоранию органических материалов, существенно ниже теплоты сгорания этих веществ. В дальнейших расчетах принимаем $Q = 3200$ кДж/кг (данное значение примерно соответствует оценке теплового эффекта реакций некоторых красящих веществ с окислителем, содержащимся в их химической структуре [29]), что заметно ниже теплоты полного сгорания известных красителей.

Для воздуховода необходимо учитывать конвективный теплообмен слоя у обеих противоположных поверхностей отложения. В этом случае расчет параметра Франк-Каменецкого δ [1] по методике [5, 23] выполняется по уравнению

$$\delta = \frac{1}{2a} \left(\frac{Bi_\Gamma Bi_x}{2Bi_\Gamma Bi_x + Bi_x + Bi_\Gamma} \right)^2 \times \left\{ \theta_0 + 2 \ln \left[2 \left(a + \sqrt{a(a-1)} \right) \right] \right\}^2, \quad (3)$$

где

$$a = 1 + 2,28 e^{-0,65\theta_0}; \quad (4)$$

$$\theta_0 = \frac{E}{RT_\Gamma^2} (T_\Gamma - T_0); \quad (5)$$

R — универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); $R = 8,314$ Дж/(моль·К);

T_Γ, T_0 — температура окружающей среды соответственно у горячей и холодной поверхностей отложений, К;

Bi_Γ, Bi_x — число Био соответственно для горячей и холодной поверхностей;

$$Bi_\Gamma = \left[0,018 \left(\frac{VD}{v} \right)^{0,8} \frac{\lambda_B}{D} + 4\sigma T_\Gamma^3 \right] \frac{h}{2\lambda}; \quad (6)$$

$$Bi_x = \left(0,54 \sqrt[4]{\frac{gh^3}{va} \frac{(T_\Gamma - T_0)b_x}{T_0} \frac{\lambda_B}{h} + 4\sigma T_0^3} \right) \frac{h}{2\lambda}; \quad (7)$$

D — диаметр поперечного сечения трубы воздуховода, м;

v — кинематическая вязкость воздуха, м²/с;

λ_B — коэффициент теплопроводности воздуха;

σ — постоянная Стефана-Больцмана, Вт/(м²·К⁴); $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴);

h — толщина отложения, м;

g — ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/с²;

$$b_x = \frac{Bi_\Gamma}{Bi_x + 2Bi_x Bi_\Gamma + Bi_\Gamma}. \quad (8)$$

Параметры контактирующей с отложением воздушной среды определяются следующим образом:

$$\lambda_B = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} T_{cp}; \quad (9)$$

$$\frac{g}{av} = 1,2 \cdot 10^8 e^{1770/T_{cp}}; \quad (10)$$

$$v = 7,87 \cdot 10^{-11} T_{cp}^2 + 5,01 \cdot 10^{-8} T_{cp} - 6,4 \cdot 10^{-6}, \quad (11)$$

где T_{cp} — усредненная между поверхностью отложения и контактирующей средой температура, К.

Среднюю температуру газовой среды у холодной ($T_{cp,x}$) и горячей ($T_{cp,\Gamma}$) поверхностей определяют по формулам:

$$T_{cp,x} = T_0 + \frac{T_\Gamma - T_0}{2} b_x; \quad (12)$$

$$T_{cp,\Gamma} = T_\Gamma - \frac{T_\Gamma - T_0}{2} b_\Gamma, \quad (13)$$

где

$$b_\Gamma = \frac{Bi_x}{2Bi_x Bi_\Gamma + Bi_x + Bi_\Gamma}. \quad (14)$$

Критические условия теплового самовозгорания отложений определяются критическим значением $\delta_{кр}$ параметра Франк-Каменецкого:

$$\delta_{кр} = \frac{Q\rho k_0}{\lambda} \frac{E}{RT^2} r^2 e^{-E/(RT)} = \delta (1 + \beta)(1 + 2,4\gamma^{2/3}), \quad (15)$$

где r — половина расчетного диаметра, м;

$$\beta = \frac{RT_\Gamma}{E}; \quad \gamma = \frac{cRT_\Gamma^2}{QE}; \quad (16)$$

T — температура окружающей среды, К;

c — теплоемкость материала, Дж/(кг·К).

В работе [26] отмечено, что при нормальной работе вентилятора температура среды в воздухово-

дах не превышает 70 °С. Определено также, что при штатной работе вентиляционной системы скорость движения воздушного потока внутри трубы составляет 8–15 м/с. При отключенном вентиляторе газовая среда в воздуховоде движется со скоростью не более 1,5 м/с, что приводит к росту ее температуры внутри труб до 102 °С. Диаметр поперечного сечения труб D используемых на практике воздуховодов может находиться в пределах 0,2–0,5 м.

Авторами [26] по зависимости (1) выполнена оценка критической для самовозгорания толщины отложений, которая при температуре 127,5 °С (с учетом коэффициента безопасности 0,8) составила 0,054 м. Температура воздуха в производственном помещении с функционирующей системой вентиляции и кондиционирования может достигать 20–25 °С. При аварийном отключении этих систем температуры снаружи здания и в пространстве технологических участков будут выравниваться. Максимальная среднесуточная температура в теплое время года в южных регионах России не превышает 40 °С [30]. В дальнейших расчетах учитываем изменение температуры воздушной среды у холодной поверхности отложения T_0 в диапазоне 20–40 °С.

Результаты расчетов, выполненных по методике [5, 23], представлены на рис. 1–5.

На рис. 1 иллюстрируется изменение критической толщины отложений h (превышение которой приводит к самовозгоранию) на поверхности воздуховода (диаметр сечения 0,5 м, скорость движения среды 1,5 м/с) в зависимости от температуры газовой среды T_r внутри трубы. Как следует из данных, представленных на рис. 1, наличие разницы температур на противоположных поверхностях отложения приводит к росту критической толщины в несколько раз по сравнению с требуемой по ГОСТ 12.1.044–89. В диапазоне изменения температур от 70 до 102 °С, характеризующих штатный и аварийный режимы работы вентиляционной системы, опас-

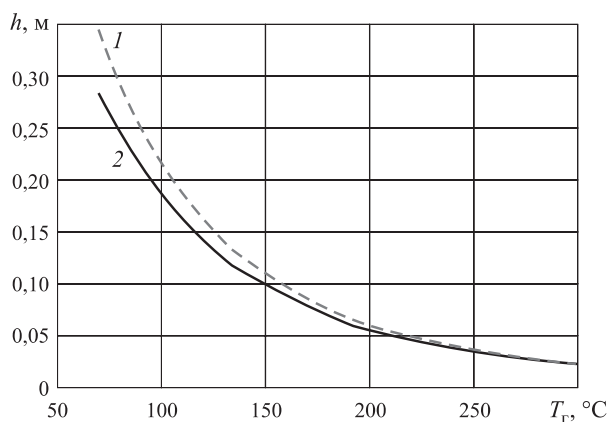


Рис. 1. Влияние температуры среды в воздуховоде на критическую толщину отложения при температуре наружного воздуха 40 °С (1) и 20 °С (2)

ная для самовозгорания толщина отложений превышает 0,18 м. Отложения толщиной около 0,054 м (прогноз по методу ГОСТ 12.1.044–89) могут самовозгораться при температурах среды в воздуховоде выше 200 °С. Влияние температуры воздуха в пространстве цеха T_0 остается заметным при изменении T_r от 70 до 200 °С. При дальнейшем росте температуры T_r критическая толщина отложений h (с учетом T_0) отличается только на 1–2 мм.

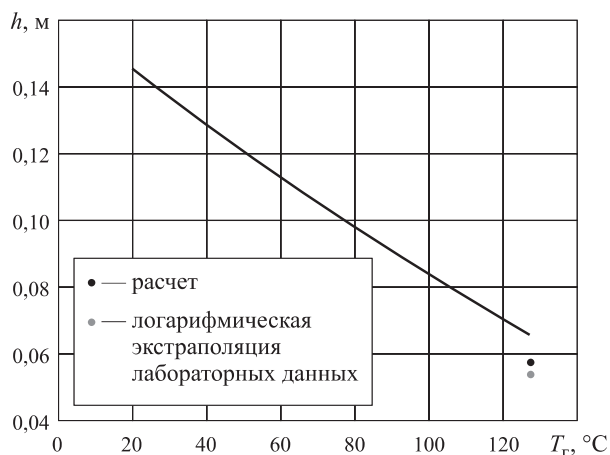


Рис. 2. Влияние температуры внешней поверхности отложения с симметричным теплообменом на критическую для самовозгорания толщину

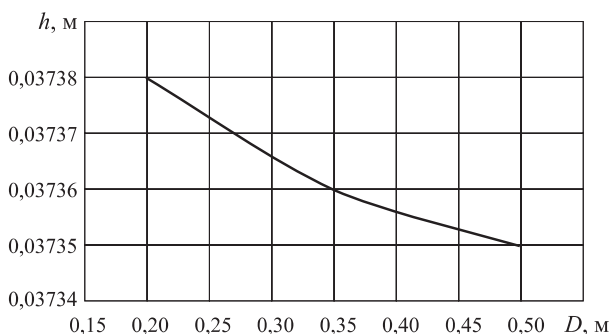


Рис. 3. Влияние диаметра сечения воздуховода на критический размер отложения при $T_r = 240$ °С, $T_0 = 40$ °С и скорости потока 1,5 м/с

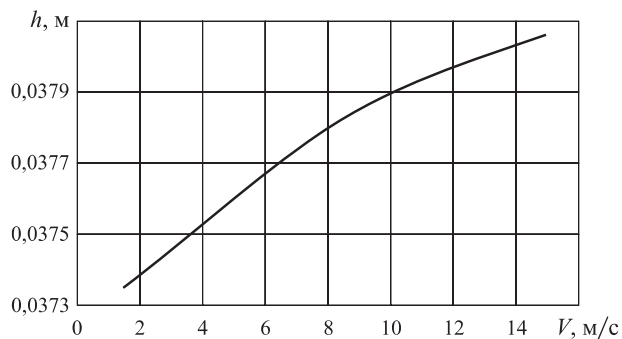


Рис. 4. Влияние скорости потока среды в воздуховоде на критическую толщину отложения при $T_r = 240$ °С, $T_0 = 40$ °С и $D = 0,5$ м

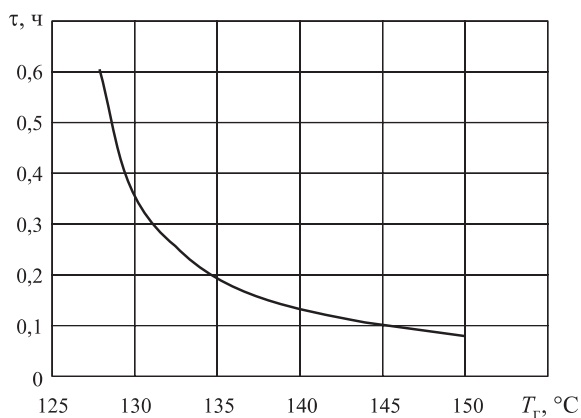


Рис. 5. Оценка периода индукции самовозгорания отложений в воздуховоде

Расчеты показывают, что при $T_r = 70 \div 80$ °C самовозгорание отложений вообще невозможно из-за существенного роста их критической толщины. По-видимому, возгорание отложений толщиной менее 0,05 м может происходить в результате попадания в воздухопровод тлеющих частиц или неконтролируемого роста температуры среды T_r выше 210 °C. Заметное снижение критической толщины отложений возможно также в воздухопроводах с теплоизоляцией, в которых температура внешней поверхности отложения (контактирующей с поверхностью трубы) приближается к T_r . Это видно из результатов расчета, представленных на рис. 2.

На рис. 2 показано влияние температуры внешней поверхности отложения (определяемой условиями теплоотвода во внешнюю среду) на критическую толщину отложения в трубе при температуре среды 127,5 °C (оценка критической толщины выполнялась в работе [26]), движущейся со скоростью 1,5 м/с. Подобная зависимость должна учитываться при теплоизоляции труб воздухопроводов (например, с целью снижения степени конденсации летучих компонентов среды). Результаты расчетов, представленные на рис. 2 линией, показывают возможность уменьшения критической толщины отложений в теплоизолированном трубопроводе примерно в 2 раза. В гипотетическом (практически недостижимом в начальных условиях) варианте, когда температура внешней поверхности отложения равна температуре среды в воздуховоде (127,5 °C), критическая толщина составляет 0,065 м. Это немного выше результата расчета для отложения с полностью симметричным теплообменом на обеих противоположащих поверхностях (см. рис. 2), что указывает на влияние теплоотвода от горячей поверхности слоя со стороны потока в трубе. На рис. 2 также приведены результаты логарифмической экстраполяции данных лабораторных экспериментов (выполненных при симметричном теплообмене образца) по методу ГОСТ 12.1.044–89.

На рис. 3 показано влияние на условия самовозгорания диаметра поперечного сечения трубы воздухопровода. Если учитывать принятый масштаб, то оно довольно слабое. Критическая толщина отложений меняется не более чем на 0,1 %.

Скорость движения потока в трубе (в рассматриваемом диапазоне) оказывает чуть более заметное влияние на величину h , меняя ее почти на 2 % (см. рис. 4).

На рис. 5 представлены результаты оценки периода индукции самовозгорания отложений критической толщины (при $T_r = 127,5$ °C) в воздуховоде с диаметром сечения 0,5 м при скорости движения среды 1,5 м/с и температуре воздуха в производственном помещении 40 °C. Консервативный метод оценки указывает на то, что самовозгорание отложения в воздуховоде может произойти в течение 1 ч. И хотя особенности теплообмена отложений могут существенно увеличить период индукции, следует считать основным лимитирующим фактором процесс накопления осаждающихся слоев до критической толщины (с учетом штатных и аварийных условий эксплуатации технологических участков).

Вышеприведенной оценке периода индукции методом ГОСТ 12.1.044–89 следует доверять меньше, так как в практическую область экстраполируются данные экспериментов без учета изменения формы отложений вещества. К тому же использованный нами метод расчета [5, 23] всегда отличался большей точностью прогноза по сравнению с подходом ГОСТ 12.1.044–89. Кроме того, оценка авторов работы [26] приводит практически к тем же выводам о лимитировании процесса накопления отложений.

Выводы

При температуре среды в воздуховоде от 70 до 80 °C самовозгорание отложений невозможно. В диапазоне изменения температур, характеризующем штатный и аварийный режимы работы вентиляционной системы, опасная для самовозгорания толщина отложений превышает 0,18 м. Отложения толщиной около 0,054 м могут самовозгораться при температурах среды в воздуховоде выше 200 °C.

Возгорание отложений толщиной менее 0,05 м может происходить в результате попадания в воздухопровод тлеющих частиц или неконтролируемого роста температуры среды T_r выше 210 °C. Двукратное уменьшение критической толщины отложений возможно в воздухопроводах с теплоизоляцией. Это может использоваться для снижения степени конденсации летучих компонентов среды.

Показано, что диаметр поперечного сечения трубы и скорость движения потока в ней оказывают слабое влияние на условия самовозгорания отложений в воздуховоде.

Самовозгорание отложения в воздуховоде может произойти в течение одной рабочей смены. Основным лимитирующим фактором следует считать про-

цесс накопления осаждающихся слоев до критической толщины (с учетом штатных и аварийных условий эксплуатации технологических участков).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Франк-Каменецкий Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. — М. : Наука, 1967. — 485 с.
2. Таубкин С. И. Основы огнезащиты целлюлозных материалов. — М. : Минкоммунхоз, 1960. — 348 с.
3. Мерзжанов А. Г., Барзыкин В. В., Гонитковская В. Т. Задача об очаговом тепловом взрыве // ДАН СССР. — 1963. — Т. 148, № 2. — С. 380–383.
4. Петров А. П. Пожарная безопасность технологического оборудования с горючими отложениями : дис. ... д-ра техн. наук. — М. : ВИПТШ, 1994. — 275 с.
5. Горшков В. И. Самовозгорание веществ и материалов. — М. : ВНИИПО, 2003. — 445 с.
6. Буркина Р. С., Виллонов В. Н. О возбуждении химической реакции в “горячей точке” // Физика горения и взрыва. — 1980. — Т. 16, № 4. — С. 75–79.
7. Сеплярский Б. С., Афанасьев С. Ю. Анализ нестационарной картины воспламенения очага разогрева // Физика горения и взрыва. — 1989. — Т. 25, № 6. — С. 9–13.
8. Соколов Д. Н., Вогман Л. П., Зуйков В. А. Микробиологическое самовозгорание // Пожарная безопасность. — 2012. — № 1. — С. 35–48.
9. Афанасьев С. Ю., Сеплярский Б. С., Амосов А. П. Расчет критических условий воспламенения системы очагов разогрева // Физика горения и взрыва. — 1990. — Т. 26, № 6. — С. 16–20.
10. Князева А. Г., Буркина Р. С., Виллонов В. Н. Особенности очагового теплового воспламенения при различных начальных распределениях температуры // Физика горения и взрыва. — 1988. — Т. 24, № 3. — С. 45–47.
11. Буркина Р. С., Буркин В. В. Воспламенение системы очагов разогрева при наличии теплоотдачи на боковой поверхности // Физика горения и взрыва. — 2000. — Т. 36, № 2. — С. 17–21.
12. Ананьев А. В., Земских В. И., Лейтунский О. И. О тепловом воспламенении системы горячих очагов // Физика горения и взрыва. — 1983. — Т. 19, № 4. — С. 49–52.
13. Корольченко И. А. и др. Условия теплового самовозгорания отложений материалов // Материалы XIII Симпозиума по горению и взрыву РАН, г. Черноголовка, 7–11 февраля 2005 г. — Черноголовка, 2005. — С. 91.
14. Walker I. K. The role of water in spontaneous combustion of solids // Fire Res. Abstr. — 1967. — No. 9. — P. 5–22.
15. Rothbaum H. P. Spontaneous combustion of hay // Journal of Applied Chemistry. — 2007. — Vol. 13, Issue 7. — P. 291–302. DOI: 10.1002/jctb.5010130704.
16. Merzhanov A. G. On critical conditions of thermal explosion of a hot spot // Combustion and Flame. — 1966. — Vol. 10, No. 4. — P. 341–348. DOI: 10.1016/0010-2180(66)90041-1.
17. Thomas P. H. A comparison of some hot spot theories // Combustion and Flame. — 1965. — Vol. 9, No. 4. — P. 369–372. DOI: 10.1016/0010-2180(65)90025-8.
18. Thomas P. H. An approximate theory of “hot spot” critically // Combustion and Flame. — 1973. — Vol. 21, No. 1. — P. 99–109. DOI: 10.1016/0010-2180(73)90011-4.
19. Friedman M. H. A generalized thermal explosion criterion — Exposition and illustrative applications // Combustion and Flame. — 1967. — Vol. 11, No. 3. — P. 239–246. DOI: 10.1016/0010-2180(67)90051-x.
20. Zaturka M. B. The interaction of hot spots // Combustion and Flame. — 1974. — Vol. 23, No. 3. — P. 313–317. DOI: 10.1016/0010-2180(74)90113-8.
21. Zaturka M. B. Thermal explosion of interacting hot spots // Combustion and Flame. — 1975. — Vol. 25, No. 1. — P. 25–30. DOI: 10.1016/0010-2180(75)90065-6.
22. Вогман Л. П., Сибирко В. И., Хрюкин А. В., Сенчихин В. И. Статистические данные о пожарах вследствие самовозгорания веществ и материалов // Хлебопродукты. — 2014. — № 10. — С. 64–65.
23. Методика определения условий теплового самовозгорания веществ и материалов. — М. : ФГУ ВНИИПО, 2004. — 65 с.
24. Вогман Л. П., Корольченко И. А., Бритиков Д. А., Хрюкин А. В. Расчет слоя отложений на оборудовании, в вентиляционных системах и аспирационных установках объектов переработки и хранения растительного сырья // Хлебопродукты. — 2014. — № 6. — С. 44–46.
25. Вогман Л. П., Хрюкин А. В., Корольченко И. А. Условия самовозгорания отложений на оборудовании, в вентиляционных системах и аспирационных установках объектов переработки и хранения растительного сырья // Хлебопродукты. — 2015. — № 8. — С. 54–55.

26. *Вогман Л. П. и др.* Пожарная опасность отложений в воздуховодах вентиляционных систем // Лакокрасочные материалы и их применение. — 1980. — № 2. — С. 63–64.
27. *Bowes P. C.* Self-heating: evaluating and controlling the hazards. — London, 1984. — 500 p.
28. *Корольченко И. А.* Удельное тепловыделение образцов при определении условий теплового самовозгорания // Пожарная безопасность. — 2004. — № 5. — С. 55–59.
29. *Васин А. Я.* Взаимосвязь химического строения и пожаровзрывоопасности органических красителей, лекарственных средств и их аэрозвесей : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — М. : РХТУ, 2008. — 32 с.
30. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*. — Введ. 01.01.2013. — М. : Минрегион России, 2012.

Материал поступил в редакцию 16 июня 2016 г.

Для цитирования: *Вогман Л. П., Корольченко И. А., Хрюкин А. В.* Определение условий самовозгорания отложений паров горючих жидкостей в воздуховодах вентиляционных систем // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 8. — С. 34–41. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.08.34-41.

English

DETERMINATION OF THE SELF-IGNITION CONDITIONS FOR SEDIMENTS OF COMBUSTIBLE LIQUID VAPOURS INSIDE AIR PIPES OF VENTILATING SYSTEMS

VOGMAN L. P., Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIPO, 12, Moscow Region, Balashikha, 143903, Russian Federation; e-mail address: vniipo-3-5-3@ya.ru)

KOROLCHENKO I. A., Doctor of Technical Sciences, Docent, Scientific Research Institute for Storing of Rosrezerva (Volochevskaya St., 40-1, Moscow, 111033, Russian Federation)

KHRYUKIN A. V., Postgraduate Student, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIPO, 12, Moscow Region, Balashikha, 143903, Russian Federation; e-mail address: 79081404888@ya.ru)

ABSTRACT

This article describes the results of laboratory tests on determination of conditions of the thermal self-ignition of sediments of vapors of various combustible liquids inside air pipes of ventilating systems. On the basis of tests there were calculated the values of critical thickness of sediments at regular and emergency operating modes of ventilating system taking into account the unsymmetrical heat exchange of the formed layer. In such conditions the temperature of opposite surfaces of sediments are different, and heat exchange of the accumulated layer with environment is unsymmetrical. To determine the critical parameters of self-ignition of sediments on the surface of various equipment, in conditions of unsymmetrical heat exchange of the material layer, it was used the calculation method with the Frank-Kamenetsky parameter δ in oxidation reaction of the combustible substance, considering convective heat exchange at both opposite surfaces of the sediment.

For calculation it was accepted that the maximum average daily temperature in regions of Russia during the warm season doesn't exceed 40 °C.

Influence of the temperature inside air pipe on the critical thickness of sediment was determined at temperature values of external air of 40 and 20 °C. Presence of the temperature difference on opposite surfaces of a sediment layer leads to growth of its critical thickness by several times in comparison with requirements of the Russian State Standard 12.1.044–89.

Our calculations show that if the temperature of air-gas environment (T_g) inside air pipes is equal to 70–80 °C, then the self-ignition of sediments become impossible because of significant growth of their critical thickness. Apparently, ignition of sediments, which thickness is less than 0.05 m, can occur as a result of penetration of the smoldering particles into air pipe or uncontrolled growth of the temperature of air-gas environment higher than 210 °C. Noticeable reduction of the critical

thickness of sediments become possible also in air pipes with thermal insulation, if the temperature of external surface of the sediment (contacting with the pipe surface) approximate values of T_g .

Influence of the cross section diameter of air pipe, as well as the rate of motion of air flow inside the pipe, on conditions of self-ignition is unobserved in comparison with influence of increase of the sediment layer thickness.

The results of estimation of the induction period of self-ignition of the sediment with critical thickness (when $T_g = 127.5$ °C) inside air pipe with section diameter of 0.5 m and rate of motion of 1.5 m/s, in conditions when the temperature in production room is about 40 °C, indicate that self-ignition of sediments can occur within 1 hour, i. e. during one working shift. Despite the fact that features of heat exchange of sediments can significantly increase the induction period, the process of accumulation of the sediment layers up to critical thickness (taking into account regular and emergency conditions of operation) should be considered as the major limiting factor.

Keywords: sediment; self-ignition; unsymmetrical heat exchange; fire safety; ventilating system; air pipes; induction period.

REFERENCES

1. Frank-Kamenetskiy D. A. *Diffusion and heat-transfer in chemical kinetics*. Moscow, Nauka Publ., 1967. 485 p. (in Russian).
2. Taubkin S. I. *Fundamentals of fire protection of cellulosic materials*. Moscow, Minkommunkhoz Publ., 1960. 348 p. (in Russian).
3. Merzhanov A. G., Barzykin V. V., Gontkovskaya V. T. The problem on focal thermal explosion. *Doklady Akademii nauk SSSR (Proceedings of the USSR Academy of Sciences)*, 1963, vol. 148, no. 2, pp. 380–383 (in Russian).
4. Petrov A. P. *Fire safety of processing equipment with combustible sediments*. Dr. tech. sci. diss. Moscow, 1994. 275 p. (in Russian).
5. Gorshkov V. I. *Spontaneous ignition of substances and materials*. Moscow, VNIPO Publ., 2003. 445 p. (in Russian).
6. Burkina R. S., Vilyunov V. N. Initiation of chemical reaction at a “hot spot”. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, July 1980, vol. 16, issue 4, pp. 423–426. DOI: 10.1007/bf00742991.
7. Seplyarskiy B. S., Afanasyev S. Yu. Analysis of the unsteady pattern of the heating site ignition. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, November 1989, vol. 25, issue 6, pp. 665–669. DOI: 10.1007/bf00758727.
8. Sokolov D. N., Vogman L. P., Zuykov V. A. Microbiological spontaneous ignition. *Pozharnaya bezopasnost (Fire Safety)*, 2012, no. 1, pp. 35–48 (in Russian).
9. Afanas'ev S. Yu., Seplyarskii B. S., Amosov A. P. Analysis of critical ignition conditions of a system of heating foci. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, November 1990, vol. 26, issue 6, pp. 634–637. DOI: 10.1007/bf00786498.
10. Knyazeva A. G., Burkina R. S., Vilyunov V. N. Characteristics of local thermal ignition with various initial temperature distributions. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, May 1988, vol. 24, issue 3, pp. 303–305. DOI: 10.1007/bf00750611.
11. Burkina R. S., Burkin V. V. Ignition of a system of hot spots in the presence of heat transfer through the side surface. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, March 2000, vol. 36, issue 2, pp. 171–175. DOI: 10.1007/bf02699355.
12. Ananyev A. V., Zemskikh V. I., Leypunskiy O. I. Thermal self-ignition of a system of hot foci. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, July 1983, vol. 19, issue 4, pp. 415–417. DOI: 10.1007/bf00783635.
13. Korolchenko I. A. et al. Conditions of thermal self-ignition of material sediments. In: *Proceedings of 13th Symposium on burning and explosion*. Chernogolovka, Russian Academy of Sciences, 2005, p. 91 (in Russian).
14. Walker I. K. The role of water in spontaneous combustion of solids. *Fire Res. Abstr.*, 1967, no. 9, pp. 5–22.
15. Rothbaum H. P. Spontaneous combustion of hay. *Journal of Applied Chemistry*, 2007, vol. 13, issue 7, pp. 291–302. DOI: 10.1002/jctb.5010130704.
16. Merzhanov A. G. On critical conditions of thermal explosion of a hot spot. *Combustion and Flame*, 1966, vol. 10, no. 4, pp. 341–348. DOI: 10.1016/0010-2180(66)90041-1.
17. Thomas P. H. A comparison of some hot spot theories. *Combustion and Flame*, 1965, vol. 9, no. 4, pp. 369–372. DOI: 10.1016/0010-2180(65)90025-8.
18. Thomas P. H. An approximate theory of “hot spot” critically. *Combustion and Flame*, 1973, vol. 21, no. 1, pp. 99–109. DOI: 10.1016/0010-2180(73)90011-4.

19. Friedman M. H. A generalized thermal explosion criterion — Exposition and illustrative applications. *Combustion and Flame*, 1967, vol. 11, no. 3, pp. 239–246. DOI: 10.1016/0010-2180(67)90051-x.
20. Zaturka M. B. The interaction of hot spots. *Combustion and Flame*, 1974, vol. 23, no. 3, pp. 313–317. DOI: 10.1016/0010-2180(74)90113-8.
21. Zaturka M. B. Thermal explosion of interacting hot spots. *Combustion and Flame*, 1975, vol. 25, no. 1, pp. 25–30. DOI: 10.1016/0010-2180(75)90065-6.
22. Vogman L. P., Cibirko V. I., Khryukin A. V., Senchikhin V. I. Statistical data on fires due to spontaneous combustion substances and materials. *Khleboprodukty (Bread Products)*, 2014, no. 10, pp. 64–65 (in Russian).
23. *Methods of definition of the thermal self-ignition condition of substances and materials*. Moscow, VNIPO Publ., 2004. 65 p. (in Russian).
24. Vogman L. P., Korolchenko I. A., Britikov D. A., Khryukin A. V. Calculation sediment layer on the equipment, ventilation systems and suction units of objects of storage and processing of plant raw materials. *Khleboprodukty (Bread Products)*, 2014, no. 6, pp. 44–46 (in Russian).
25. Vogman L. P., Khryukin A. V., Korolchenko I. A. Conditions of self-ignition of deposits on the equipment, in ventilating systems and aspiration installations of objects of processing and storage of plant roughage. *Khleboprodukty (Bread Products)*, 2015, no. 8, pp. 54–55 (in Russian).
26. Vogman L. P. et al. Fire hazard of sediments inside air pipes of ventilation systems. *Lakokrasochnyye materialy i ikh primeneniye (Russian Coatings Journal)*, 1980, no. 2, pp. 63–64 (in Russian).
27. Bowes P. C. *Self-heating: evaluating and controlling the hazards*. London, 1984. 500 p.
28. Korolchenko I. A. Heat-liberation value of samples in process of determination of the thermal self-ignition conditions. *Pozharnaya bezopasnost (Fire Safety)*, 2004, no. 5, pp. 55–59 (in Russian).
29. Vasin A. Ya. *Interaction of the chemical structure and fire-and-explosion hazard of organic dyes, medicines and their aero suspensions*. Abstr. dr. tech. sci. diss. Moscow, 2008. 32 p. (in Russian).
30. *Set of rules 131.13330.2012. Building climatology*. Moscow, Minregion Rossii Publ., 2012 (in Russian).

For citation: Vogman L. P., Korolchenko I. A., Khryukin A. V. Determination of the self-ignition conditions for sediments of combustible liquid vapours inside air pipes of ventilating systems. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 8, pp. 34–41. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.08.34-41.



НОВАЯ КНОПКА SMARTEC ДЛЯ РАЗБЛОКИРОВКИ ДВЕРИ ЭВАКУАЦИОННОГО ВЫХОДА

http://www.secuteck.ru/newstext.php?news_id=110469

В ассортименте устройств Smarterec, предназначенных для систем контроля доступа, появились кнопки разблокировки электрозамков ST-ER115SL-GN, рассчитанные на управление работой дверей эвакуационных выходов, в том числе не оборудованных считывающими устройствами. Новинки имеют группу контактов для подачи или отключения питания электрозамка нормально открытого либо нормально закрытого типа и снабжены светодиодным индикатором для контроля текущего состояния устройства или подконтрольного ему оборудования. Для защиты ST-ER115SL-GN от случайного нажатия имеется крышка из прозрачного пластика, а для доступа к кнопке активации — неповреждаемая пластиковая вставка.

Экстренная разблокировка электрозамка двери с помощью ST-ER115SL-GN осуществляется вручную и включает в себя несколько простых этапов. Так, чтобы при эвакуации персонала из здания быстро открыть дверь аварийного выхода (если этого не сделал удаленно оператор системы контроля доступа), необходимо откинуть пластиковую крышку корпуса ST-ER115SL-GN, вместе с которой срывается пломба, а затем надавить на пластиковую вставку, что обеспечит перевод двери в режим свободного доступа на неограниченное время. Место активации кнопки аварийного выхода указано схематически на корпусе устройства контроля доступа для удобства его использования. После аварийной разблокировки ST-ER115SL-GN можно оперативно перевести в штатный режим работы без дополнительных расходов.