

В.М. Сонечкин, Л.Т. Панасевич, Р.Ф. Садыков, Г.В.Хорватх (Россия, Венгрия),  
(Академия Государственной противопожарной службы МЧС России,  
Главное управление пожарной охраны г. Будапешта; e-mail: info@academygps.ru)

## ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ПОМЕЩЕНИЯ ПРИ НАЛИЧИИ В НЁМ ГОРЮЧЕЙ ДРЕВЕСНОЙ ПЫЛИ

Рассматривается проблема пожаровзрывоопасности помещения с наличием горючей древесной пыли. Показано, что концентрация пыли в воздухе и возможность ее накопления в помещении зависят от аэродинамической характеристики работы системы аспирации, установленной в этом помещении.

Ключевые слова: древесная пыль, пылевоздушная смесь, пожаровзрывоопасность, пожаровзрывобезопасность.

V.M. Sonechkin, L.T. Panasevich, R.F. Sadykov, G.V. Horvath  
FIRE-EXPLOSION DANGER OF BUILDINGS UNDER CONDITION  
OF THE EXISTENCE OF AN INFLAMMABLE WOOD DUST  
WITHIN THE BUILDING

The problem of the fire-explosion danger is considered for buildings in which there is an inflammable dust. It is shown that the fir dust concentration as well as a possibility of the air dust accumulation depend from an aerodynamic characteristics of the aspiration system installed.

Key words: wood dust, air-dust mixture, fire-explosion danger, fire-explosion safety.

Развитие многих отраслей промышленности связано с проектированием и эксплуатацией производств, имеющих источники взрывоопасной пыли. Поступая в воздух помещения, взрывоопасная пыль под действием турбулентной диффузии и других факторов распространяется в объеме производственного помещения. Одновременно происходит седиментация твердой фазы пыли на выступы строительных конструкций, оборудование, поверхность пола и другие поверхности.

Накапливающаяся таким образом пыль представляет собой большую опасность, так как в случае взрыва внутри технологического оборудования или в объеме помещения (первичный взрыв) формируются волны сжатия, которые способны перевести отложившуюся пыль в состояние аэровзвеси. При этом, как правило, возникают повторные взрывы в объеме помещения, которые и приведут к наиболее значительным разрушениям.

Взрывы пылевых отложений происходят сегодня во всех странах с развитой технологией. В этой связи возникает важная задача прогнозиро-

вания пожаровзрывоопасности производств, в которых образуются и обрабатываются горючие пыли.

Анализ развития пылевых взрывов в производственном помещении показывает, что они, как правило, протекают в два и более этапов. На первом этапе взрыв в технологическом оборудовании приводит к взвихрению большого количества пыли, осевшей ранее на строительных конструкциях, технологическом оборудовании и на полу. На втором этапе происходит взрыв образовавшегося пылевого облака.

Особенностью технологического процесса механической обработки твердых горючих материалов является то, что в производственном процессе всегда имеется горючее вещество и окислитель (атмосферный воздух) и в производственном помещении всегда имеются две зоны, в которых может образоваться пылевоздушная смесь: емкость оборудования и пространство, необходимое для обслуживания и управления процессом. При этом в объеме оборудования невозможно исключить образование пылевоздушной смеси. Можно только снизить концентрацию пыли за счет активной аспирации. В зоне обслуживания и управления исключить образование пылевоздушной смеси можно только путем предотвращения выхода пыли из объема оборудования. Поэтому разработку пожарно-профилактических мероприятий необходимо начинать с определения категории помещения по степени пожаровзрывоопасности.

В большинстве производств выделение и накопление горючей пыли происходит при нормальной работе технологического оборудования. Основными источниками выделения пыли в производственном помещении являются: неэффективная работа системы аспирации, несовершенство технологического оборудования, применение ручного труда. При таких условиях в большинстве производств пыль накапливается в объеме помещения неравномерно.

При оценке категории помещения, в котором имеется оборудование, из которого, в случае аварии, возможен выход в помещение горючей пыли, необходимо знать характер распределения пыли в помещении.

Основным при решении данной динамической задачи является знание закона локальной эволюции, позволяющего установить прошлое и предсказать будущее состояние дисперсной системы.

Простейший вариант задачи тот, когда процесс осаждения пыли происходит в неограниченном пространстве, а характер рассеивания пыли от её источника определяется только горизонтальной диффузией, зависящей от неупорядоченных перемещений объемов воздуха.

Тогда процесс рассеивания пыли можно моделировать с помощью уравнения:

$$\frac{\partial S(x, t)}{\partial x_t} = \alpha^2 \sum \frac{\partial^2 S(x, t)}{\partial x_t^2}, \quad (1)$$

где  $S(x, t)$  – концентрация пыли в момент  $t$  в точке  $x$  поверхности пола;  $x = (x_1, x_2)$  – декартовы координаты пола;  $\alpha^2$  – коэффициент диффузии пыли в воздухе;  $t$  – время.

Общее решение этого уравнения имеет вид:

$$S(x, t) = (2\alpha\sqrt{\pi t})^{-2} \int_R \exp \left\{ -\frac{(x-2)^2}{4\alpha^2 t} \right\} g(z) dz, \quad (2)$$

где  $g(z)$  – заданная функция пространственных координат, которая описывает распределение пыли в начальный момент времени  $t = 0$ , а  $R$  – радиус распространения пыли от её источника.

Зависимость (2) показывает, что пыль рассеивается со временем так, что её концентрация убывает как гауссовская функция:  $\exp \left\{ -\frac{x^2}{4\alpha^2 t} \right\}$ .

Задача усложняется, если имеются источники постоянного движения воздуха в помещении. Еще одно усложнение решения задачи по распределению пыли в помещении связано с учетом ограничения его объема. Для учета этого фактора достаточно задать на границах помещения условия ограничения диффундирующей и переносимой движущимся воздухом пыли.

Очевидно, что решение задачи в этом случае становится зависимым от формы помещения и места расположения источника пыли внутри него. Поэтому в каждом конкретном случае задачу надо решать заново, используя численные методы.

Но качественная картина рассеивания пыли и в этом случае вполне ясна – на общее гауссовское распределение пыли накладываются волны отражений диффундирующей от стенок пыли.

Таким образом, задача о предотвращении взвихрения древесной пыли в объеме помещения является существенно нестационарной.

Для строгой ее формулировки надо, прежде всего, разработать математическую модель переноса воздушным потоком  $V$  пассивной примеси  $Tr$ , взвешенной в воздухе, постепенно оседающей под действием силы тяжести и удаляемой устройством аспирации через проём, расположенный вверху помещения. Граничные условия должны включать в себя заданный источник древесной пыли, распределенный в пространстве внутри рабочего объема в соответствии с конкретным расположением в нем оборудования. Возможно, что этот источник является переменным по времени. Это имеет место, если технологический режим обработки древесины состоит из нескольких различных этапов, на каждом из которых производится разное количество древесной пыли. Кроме того, в числе граничных усло-

вий надо задать переменные по времени потоки воздуха внутрь рабочего объема через проём для загрузки обрабатываемого материала и из рабочего объёма через проём для удаления обработанной древесины (эти проёмы, как правило, располагаются на противоположных боковых стенках помещения).

В результате как исходная должна быть рассмотрена следующая система дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dV(x,y,z)}{dt} = -\alpha(x,y,z)\nabla p(x,y,z) + g + F_1(t,x,y,z), \\ \frac{d\alpha(x,y,z)}{dt} = \alpha(x,y,z)\nabla \cdot V(x,y,z), \\ \frac{dp(x,y,z)}{dt} = -p(x,y,z)\nabla \cdot V(x,y,z), \\ \frac{dTr(x,y,z)}{dt} = -Tr(x,y,z)\nabla \cdot V(x,y,z) + F_2(t,x,y,z) - F_3(t,x,y), \\ \frac{dTr(x,y)}{dt} = F_3(t,x,y), \\ p(x,y,z) \alpha(x,y,z) = R T(t,x,y,z). \end{array} \right. \quad (3)$$

Напомним, что  $\frac{dQ(x,y,z)}{dt}$  – индивидуальная производная, характеризующая пространственно-временные изменения характеристики  $Q$  в окрестности точки с координатами  $x, y, z$ . В качестве такой характеристики в (3) фигурирует прежде всего вектор скорости воздуха ( $Q \equiv V(x,y,z)$ ), горизонтальные компоненты которого ниже будут обозначаться как  $u$  и  $v$ , а вертикальная компонента –  $w$ . Кроме того, в качестве такой характеристики в (3) фигурируют: давление ( $Q \equiv p(x,y,z)$ ), удельный объем ( $Q \equiv \alpha(x,y,z)$ ) воздуха и удельное количество древесной пыли в единице объема воздуха ( $Q \equiv Tr(x,y,z)$ ), а также количество пыли, отложившейся на полу рабочего объема ( $Q \equiv Tr(x,y)$ ). Напомним также, что индивидуальная производная связана с локальными производными по времени и пространству (частными производными) соотношением

$$\frac{dQ}{dt} \equiv \frac{\partial Q}{\partial t} + u \frac{\partial Q}{\partial x} + v \frac{\partial Q}{\partial y} + w \frac{\partial Q}{\partial z},$$

а  $R \equiv c_p - c_v$  и  $T(t,x,y,z)$  обозначают газовую постоянную и температуру воздуха. Последняя может меняться во времени (аргумент  $t$ ) и в пространстве (аргументы  $x, y, z$ ), но в рассматриваемой задаче температуру можно считать постоянной, ибо никакого специального нагрева или охлаждения воздуха в рабочем объеме помещения не производится. Конечно, в процессе обработки древесины выделяется некоторое количество тепла, но это

тепловыделение более или менее постоянно во времени, а выделившееся тепло уносится из помещения вместе с высасываемым воздухом равномерно во времени. Поэтому вполне допустимо считать температуру постоянной в любой точке рассматриваемого рабочего объема и в любой момент процесса обработки древесины;  $g, F_1(t, x, y, z), F_2(t, x, y, z), F_3(t, x, y)$  представляют собой силу тяжести, внешнюю силу, действующую на рассматриваемый объем воздуха внутри рабочего объема помещения, источник древесной пыли, активный во время обработки древесины, загруженной в рабочий объем для обработки, а также количество пыли, осевшей на пол рабочего объема.  $F_1, F_2$  и  $F_3$  являются функциями времени и пространственных координат.

Поскольку рабочий объем ограничен своими стенками, необходимо добавить к системе (3) граничные условия, которые определяют величины всех вышеперечисленных зависимых переменных (скорости, давления и удельного объема воздуха, а также концентрации древесной пыли) на стенках объема, включая и проемы в этих стенках. Эти граничные условия зависят от устройства используемого оборудования и поэтому могут быть заданы различными способами.

Имея в виду эти граничные условия и учитывая вышеприведенные соотношения между индивидуальной и локальными производными, из системы (3) можно выделить уравнение в частных производных, описывающее перенос древесной пыли воздушным потоком, существующим внутри объема помещения:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Tr(x, y, z)}{\partial t} = & -u(x, y, z) \frac{\partial Tr(x, y, z)}{\partial x} - v(x, y, z) \frac{\partial Tr(x, y, z)}{\partial y} \\ & - (w(x, y, z) - gt) \frac{\partial Tr(x, y, z)}{\partial z} + F_2(t, x, y, z) \end{aligned} \quad (4)$$

Конкретное определение того, как будет происходить взвихрение, требует численного интегрирования выписанной системы уравнений с заданием конкретного временного графика "входных" потоков как части функции  $F_1$ , а также задания геометрии рабочего объема, расположения на его стенках всех проемов и взаиморасположения проемов и оборудования, служащего источником пыли.

В общем виде рекомендации по обеспечению пожаровзрывобезопасности производств, в которых присутствуют горючие пыли, могут быть сформулированы следующим образом:

- необходимо предусмотреть регулярную очистку оборудования, трубопроводов и производственных помещений от накапливающейся пыли;
- отсасывать пыль с мест ее выделения необходимо с помощью эффективно действующей вентиляции;

- целесообразно предусмотреть отдельную вытяжку для каждого вида пыли;
- объединить системы вытяжки;
- технологическое оборудование и трубопроводы необходимо выполнять пыленепроницаемыми, без собирающих пыль карманов;
- технологическое оборудование и трубопроводы необходимо оснащать взрыворазрядными устройствами, выявлять возможные источники загорания и принимать меры против их появления, для чего предусматривать заземление оборудования, максимальное увлажнение воздуха в производственных помещениях, устранение искр от удара и трения;
- в особых случаях следует предусматривать герметизацию среды внутри оборудования или устройство систем взрывоподавления;
- в зданиях и помещениях необходимо предусматривать легкосбрасываемые конструкции, площадь которых должна быть достаточной для стравливания избыточного давления, возникающего при взрыве пыли;
- в зданиях и помещениях должны быть предусмотрены пути эвакуации для обслуживающего персонала на случай возникновения аварийной ситуации.

#### Литература

1. Корольченко А.А. Пожаровзрывоопасность промышленной пыли. – М.: Химия, 1986. – С. 216.
2. Таубкин С.И., Таубкин И.С. Пожаро- и взрывоопасность пылевидных материалов и технологических процессов их переработки. – М.: Химия, 1976.
3. Сонечкин В.М., Галайда М.С., Хорватх А., Хоффманн И. Оценка пожаровзрывоопасности технологического процесса механической обработки древесных материалов // Вестник Академии ГПС, № 3. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. – С. 18-25.
4. Сонечкин В.М., Зойоми Г., Хасин И.М., Хорватх А. Обеспечение пожаровзрывобезопасности процесса механической обработки древесных материалов // Вестник Академии ГПС, № 5. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2006. – С. 53-56.
5. Сонечкин В.М., Панасевич Л.Т., Рачкаускас А. Факторы пожарной опасности процесса механической обработки древесных материалов // Вестник Академии ГПС, № 7. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. – С. 121-125.
6. Хорватх А., Сонечкин В.М. Моделирование процесса пылеосаждения в производственных помещениях и их категорирование // Материалы Международного форума "Технология безопасности". – М., 6-9 февраля 2001. – С. 199-200.
7. Сонечкин В.М., Панасевич Л.Т., Рачкаускас А. Моделирование динамики удаления пылевых отходов из объема оборудования при механической обработке древесных материалов. // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. № 1(9). – М.: Академия ГПС МЧС России, 2008. – С. 82-87.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 24 февраля 2010 г.