

В.М. Сонечкин¹, Р.Ф. Садыков¹, Г.В. Хорватх² (Венгрия)
(¹Академия Государственной противопожарной службы МЧС России,
e-mail: info@academygps.ru; ²Главное управление пожарной охраны г. Будапешта)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОЙ ВЕЛИЧИНЫ ЭНЕРГИИ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ДРЕВЕСНОЙ ПЫЛЕВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

Приведены аналитические зависимости, позволяющие определить величину энергии зажигания пылевоздушной смеси, образующейся при механической обработке древесностружечных плит. Показано, что возможно воспламенение древесной пылевоздушной смеси, если в системах пылеудаления и пылеосаждения величина накопившейся энергии будет выше 15 МДж.

Ключевые слова: древесная пыль, пылевоздушная смесь, энергия зажигания.

V. Sonechkin, R. Sadykov, G. Horvath (Hungary) APPRAISING THE VALUE OF THE IGNITION ENERGY FOR AIR-TIMBER DUST MIXTURES

Some analytical interrelations are given that open a possibility to determine the value of the ignition energy which can be formed in processes of the mechanical machining of the timber-shaving panels. It is shown that the air-timber dust mixture can ignite if the value of the accumulated energy turns out to be higher than 15 MJ within the system of the timber dust settling and removing

Key words: timber dust, air-timber dust mixture, the ignition energy

Технологические процессы лесной, деревообрабатывающей и мебельной промышленности связаны с образованием или переработкой пылевидных материалов, являющихся пожаровзрывоопасными. Опасность пожаров и взрывов на производствах, связанных с образованием горючих пылей, является потенциальным источником материального ущерба, возможного разрушения зданий и оборудования, а также ранения и гибели людей. Пожарную опасность вышеупомянутых технологических процессов увеличивают широко разветвленная система пневмотранспорта, используемого для удаления отходов с рабочих мест, и система пылеосаждения. Пожаровзрывобезопасность всех процессов и систем должна быть обеспечена не только при нормальных условиях работы, но и при возникновении аварийных ситуаций.

Особенностью обработки древесных материалов является то, что в производственном процессе всегда имеется горючее вещество (древесина) и окислитель (атмосферный воздух), а в производственном помещении всегда имеются две зоны, в которых может образовываться пылевоздушная смесь: емкости оборудования и пространство, необходимое для обслу-

живания и управления процессом обработки древесных материалов. 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 взрывоопасной концентрации можно только путем предотвращения выхода пыли из объема оборудования, т.е. необходима надежная герметизация оборудования.

В процессе механической обработки древесных материалов в объеме оборудования и в системе аспирации постоянно образуется пылевоздушная смесь, концентрация которой меняется в зависимости от параметров процесса обработки и от качества исходного материала. Образование мелкодисперсной пыли и пылевоздушной смеси – неизбежное явление, сопровождающее процесс механической обработки материала [1, 2]. При этом особенностью процесса механической обработки древесных материалов является то, что образование и накопление мелкой стружки, опилок и пыли происходит при нормальном режиме работы технологического оборудования [3, 4].

Принципы обеспечения пожаровзрывобезопасности производств, в которых образуются горючие пыли, сформулированы, в основном, на базе практических наблюдений. Они предусматривают предотвращение образования горючей среды, ограничение воспламеняемости и горючести веществ и образования в горючей среде источников зажигания.

В процессе механической обработки древесных материалов образуется подвижная пылевоздушная смесь и, как следствие, происходит электризация пыли. При этом накапливается заряд статического электричества, который может явиться источником зажигания взвеси пыли. Знание минимальной мощности электрической искры при зажигании взвеси пыли имеет большое практическое значение, так как дает возможность оценить чувствительность взвеси к воспламенению и установить допустимое значение электрического разряда. Однако имеющиеся в литературе данные не позволяют однозначно сформулировать критерий воспламенения [5, 6] в зависимости от энергии электрической искры, концентрации и размеров частиц пыли.

Авторами предложена аналитическая зависимость, позволяющая определить величину энергии зажигания пылевоздушной смеси, образующейся при механической обработке древесно-стружечных плит.

Предложена следующая модель. В некоторой области, занятой взвесью пыли в воздухе, происходит электрический разряд с выделением тепловой энергии Q . В результате этого происходит прогрев воздуха. Время искрового разряда – 10^{-6} с, время прогрева частиц пыли – 10^{-2} с. Если энергия искры достаточно велика, происходит воспламенение пылевоздушной

смеси. Температура, при которой это происходит, зависит от соотношения тепловых активностей нагретого тела и горючей среды.

Система уравнений зажигания имеет вид

$$C_1 \rho_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = q_T a_1 Z_T \exp\left\{\frac{E_1}{RT_1}\right\} - \alpha S(T_1 - T_2) \quad (1)$$

$$C_0^{-1} \frac{\partial a}{\partial t} = K \left(1 - \frac{a}{C_0}\right) \exp\left\{-\frac{E_1}{RT_1}\right\} \quad (2)$$

$$C_2 \rho_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x^2} + \alpha S(T_1 - T_2) \quad (3)$$

где C_i, ρ_i, T_i - теплоемкость (Дж/К), плотность (кг/м³), температура пыли и воздуха соответственно; a_i - объемное содержание пыли и воздуха; a - объемное содержание выделившихся газов при нагревании частиц пыли; C_0 - доля продуктов пиролиза в общем их количестве, получающаяся в результате полного разрушения связей данной группы; S - удельная межфазовая поверхность (м²/кг); K_0 - стехиометрический коэффициент; q_T - удельная теплота горения выделившихся газов (кДж/кг); Z_T - предэкспоненциальный множитель; λ_2 - теплопроводность воздуха (кДж/моль.м.град); α - коэффициент межфазного обмена (кДж/м².с.град); E_1 - энергия активации при горении газов (кДж/К.моль); t - время (с). Уравнение (1) описывает горение выделившихся газов, уравнение (2) – разложение древесной пыли, уравнение (3) характеризует необходимую энергию.

Так как концентрация пыли незначительна, воздух мало нагревается от частиц пыли. Поэтому вторым слагаемым в правой части уравнения (3) можно пренебречь. В результате получаем обычное уравнение теплопроводности

$$C_2 \rho_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x^2}. \quad (4)$$

Пусть величина энергии, выделившейся в результате электрической искры, будет равна Q . Посчитаем также, что искра имеет форму цилиндра радиусом r и длиной h . Тогда поле температур будет иметь вид

$$T_{2,t} = T_{2,0} + \frac{I \sqrt{\omega_2}}{\lambda_2 \sqrt{\pi}} \exp\left\{-\frac{r^2}{2\omega_2} t\right\}, \quad (5)$$

где ω_2 - температуропроводность воздуха (м²/с); I - поток тепла через поверхность цилиндра.

На расстоянии $r = \sqrt{2\omega_2 t}$ соотношение (5) имеет максимум, равный

$$T_{2,\max} = T_{2,0} + \frac{I\sqrt{\omega_2}}{\lambda_2\sqrt{\pi e}}. \quad (6)$$

Рассмотрим область, ограниченную $x_{1-2} = \pm\sqrt{2\omega_2 t}$. В этой области температура равна половине максимальной (отсчитанной от $T_{2,0}$).

На стадии прогрева, когда собственное тепловыделение из-за горения пыли невелико, в уравнении (1) (в пределах выбранной области) можно пренебречь первым членом в правой части. Тогда уравнение (1) принимает вид

$$\frac{\partial T_1}{\partial t} = \frac{\alpha S}{C_1 \rho_1} (T_1 - T_2). \quad (7)$$

При интегрировании этого уравнения $T_{2,t}$ задается из уравнения (6). В результате, при начальной температуре пыли, равной начальной температуре окружающего воздуха $T_{1,0} = T_{2,0}$, в качестве решения получается следующая функция:

$$T_{1,t} = \left(\frac{I\beta}{\lambda_2\sqrt{\pi e}} \int_0^t \frac{\exp\{\beta\xi\}}{\sqrt{\xi}} d\xi + T_{2,0} \right) \exp\{-\beta t\}, \quad (8)$$

где $\beta = \alpha S / C_1 \rho_1$, а ξ - переменная интегрирования по времени в интервале от 0 до t .

Полученное уравнение позволяет рассчитать прогрев частиц пыли и сравнить их температуру с температурой воспламенения. Если температура воспламенения достигнута, начнется процесс горения пылевоздушной смеси. После воспламенения пыли пренебрегать ранее отброшенным членом в правой части уравнения (1) нельзя. Поэтому, чтобы решить полное уравнение (1), применим к нему метод разложения экспонент

$$\frac{d\theta}{dt} = B \frac{e^\theta}{t^2} - \frac{\theta}{tq}, \quad (9)$$

где $\theta = (T_1 - T_{2,\max})E_1 / RT_{2,\max}$ - безразмерная температура. Уравнение (9) имеет решение только при

$$B \frac{tq}{t_1} \leq \frac{1}{e}. \quad (10)$$

Если это условие выполняется, то разогрев газов возможен только до температуры $T_{2,\max}$. В противном случае происходит взрыв.

Таким образом, из уравнения (10) получаем уравнение относительно $T_{2,\max}$

$$\frac{q_T a E_1}{\rho_1 (T_{2,\max})^2 \alpha S} e = \frac{Z_T}{\rho_1} e^{- (E_1 / RT_{2,\max})}. \quad (11)$$

Затем из уравнения (11) с учетом (6) получаем условие зажигания пыли:

$$Q = 4\pi r h (T_{2,\max} - T_{2,0}) \lambda_2 (\pi t e)^{1/2} x^{-1/2}. \quad (12)$$

Расчет энергии зажигания пылевоздушной смеси, образующейся при механической обработке древесно-стружечных плит, показал, что для ее воспламенения необходима энергия $Q = 15,0$ МДж.

Таким образом, если в системах пылеудаления и пылеосаждения происходит электризация пыли и величина накопившейся энергии будет выше 15 МДж, то возможно воспламенение пылевоздушной смеси.

Литература

1. Сонечкин В.М., Татар Ф., Хорватх А. Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций и их источников // Научно-практическая конференция. 26-27 июня 2001 г. Доклады и выступления. – М.: Центр "Антистихия", 2002. – С. 255-259.
2. Сонечкин В.М., Мосягин А.А., Хорватх А. Снижение риска гибели людей при пожарах // Материалы XVIII научно-практической конференции. Часть 1. – М.: ВНИИПО, 2003, - С. 191-193.
3. Сонечкин В.М., Мужиковский М.В., Хасин И.М. Обеспечение пожаровзрывобезопасности процесса механической обработки древесных материалов // Материалы XIV научно-практической конференции "Системы безопасности" – СБ-2005. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. – С. 147-149.
4. 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.
5. Нигматулин Р.И., Ванштейн П.В. Гетерогенное горение смесей газов с частицами или каплями. В сб. "Избранные проблемы прикладной механики". – М.: 1974. – С. 187-198.
6. Руманов Э.Н., Хайкин Б.И. Режим распространения пламени по взвесьям частиц в газе. В кн.: Горение и взрыв. – М.: Недра. – С. 161-165.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 25 февраля 2009 г.