

В.М. Сонечкин, Л.Т. Панасевич, Р.Ф. Садыков, Г.В. Хорватх
ОЦЕНКА ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТИ ПРОЦЕССА
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрены вопросы пожарной опасности процесса механической обработки древесных материалов. Показано, что концентрация пыли в воздухе зависит от аэродинамической характеристики работы системы аспирации. Даны рекомендации по обеспечению пожаровзрывобезопасности рассмотренного процесса

Ключевые слова: древесная пыль, пылевоздушная смесь, пожаровзрывобезопасность

V. Sonechkin, L. Panasevich, R. Sadykov, G. Horvath
AN APPRESIATION OF THE FIRE-EXPLOSION FOR THE
TIMBER VERCHANICAL MFCHINING

Summary: Problems of the fire danger of the processes of the timber mechanical machining were considered. It was shown that the dust concentration in air depends of the aerodynamic properties of the ventilation system work. Some recommendations are given in order to secure the fire-explosion safety of the processes under consideration

Key words: the timber dust, the air-dust, the fire-explosion safety

При переработке древесных материалов в изделия происходит образование и выделение большого количества отходов в виде пыли, способной образовать с воздухом взрывоопасные смеси, и тем самым создать высокую степень пожаровзрывоопасности производства. Особенностью процесса механической обработки древесных материалов является то, что образование и накопление мелкой стружки, опилок и пыли происходит **при нормальном режиме работы технологического оборудования**. Пожарную опасность процесса увеличивает система пневмотранспорта, используемого для удаления отходов с рабочих мест.

В зависимости от условий, даже в отложившейся пыли может возникнуть тление от самовозгорания или постороннего источника зажигания. Такие пожары представляют значительную опасность, так как они развиваются в начальной стадии без видимых признаков дыма или запахов гари.

В случае взвихрения пыль может взорваться. Нагретая пыль может выделять газообразные продукты, которые, смешиваясь с воздухом, оказываются взрывоопасными. Образовавшаяся газовоздушная смесь, взрываясь от постороннего источника зажигания, вызывает взрыв взвихрившейся пыли. Опасность вторичного взрыва появляется тогда, когда поступающая из технологического оборудования пыль находится во взвешенном состоянии. Выделяющиеся из пыли горючие газы и пары могут образовать вместе с взвихрившейся пылью смеси, обладающие особой опасностью.

В этом случае возможна следующая цепь событий: тлеющее горение → образование горючих нагретых газов → локальный взрыв этих газов → взвихрение большого количества пыли → взрыв пыли → повторный взрыв.

Факторов, влияющих на опасность пылей, достаточно много. К ним относятся: дисперсный состав, форма и состояние поверхности частиц, влагосодержание, теплота сгорания, химический состав пыли, температура, давление и другие. Зная механизм воспламенения пыли и условия распространения пламени, можно в большинстве случаев качественно оценить влияние каждого фактора на возможность взрыва пылевоздушной смеси. В процессе механической обработки деталей корпусной мебели в объёме оборудования, системе аспирации постоянно образуется пылевоздушная смесь, концентрация которой меняется в зависимости от принятых технологических параметров обработки и качества исходной древесностружечной плиты. Образование мелкодисперсной пыли и пылевоздушной смеси – неизбежное явление в рассматриваемом технологическом процессе. Поэтому основным направлением в обеспечении пожарной безопасности процесса является своевременное удаление древесных отходов с рабочего места и оборудования для исключения образования пылевоздушной смеси.

В таблице 1 приведены результаты экспериментального определения количества пылевых отходов, образующихся при обработке деталей на различном оборудовании.

Таблица 1

Результаты экспериментального определения количества
пылевых отходов при шлифовании

Пылеобразующее оборудование	Среднее количество отходов, $кг \cdot ч^{-1}$	Скорость воздуха в воздуховоде, $м \cdot с^{-1}$	Содержание пыли в удаляемом воздухе, $г \cdot м^{-3}$
Станок шлифовальный ШЛСА-2	2,6	15,38	1,140
Станок шлифовальный барабанный ШЛБ-4	2,0	15,80	0,540
Станок шлифовальный ШЛПС-5П	2,6	14,51	0,630
Станок шлифовальный ШЛПС-7	2,6	14,42	0,655
Калибровальный станок ФСП	4,2	15,50	2,910
Станок кромко- шлифовальный КШС-4	2,0	16,00	0,640

Анализ полученных результатов показывает, что пылящее оборудование необходимо оборудовать не только системой местного отсоса для удаления сыпучих отходов с рабочих мест, но и устройством для отделения транспортируемого сыпучего материала от воздуха. Накапливающаяся в оборудовании пыль представляет собой большую опасность, так как в случае "хлопка" внутри технологического оборудования формируются волны сжатия, которые способны перевести отложившуюся в объёме оборудования пыль в состояние взрывовзвеси. При этом, как правило, возможны повторные взрывы, которые приводят к наиболее значительным разрушениям.

В таблице 2 приведены результаты экспериментального определения количества пылевых отходов, образующихся при механической обработке древесностружечной плиты, отложившейся пыли на уровне пола в помещении и на поверхности оборудования.

Таблица 2

Результаты экспериментального определения пылевых отходов, количества отложившейся пыли на полу помещения и на поверхности оборудования

Оборудование	Количество пыли			
	Пылевые отходы, $г \cdot ч^{-1}$	Отложившаяся пыль на полу, $г \cdot м^{-2}$	Отложившаяся пыль на поверхности оборудования, $г \cdot ч^{-1}$	Удаляемый воздух, $м^3 \cdot ч^{-1}$
Линия калибрования	208,00	0,26	4,64	9000
Шлифовальный станок "Антон"	34,45	1,73	15,08	9000
Линия МКШ-1	513,50	0,10	9,00	18300
Шлифовальный станок ШлПС-2М	29,25	24,20	1,66	2000

Анализ полученных результатов показал, что весь внутренний свободный объём оборудования и системы аспирации постоянно заполнен пылевоздушной смесью. Количество образовавшейся пыли зависит от качества древесностружечной плиты. Большой разброс показателя запыляемости воздуха в оборудовании является результатом изменения скоростей турбулизированных потоков воздуха.

В объёмах оборудования циркулируют воздушные потоки с различным содержанием пыли, причем, как показали измерения, в большинстве случаев концентрация пыли в воздухе оказывается выше минимального уровня воспламенения. При неправильном устройстве местных отсосов и недостаточной мощности вентиляторов пыль накапливается в оборудовании. Осевшая пыль при взвихрении может создать взрывоопасную смесь.

При механической обработке древесных материалов выделение и накопление горючей пыли происходит при нормальном режиме работы технологического оборудования. Основными источниками выделения пыли в производственное помещение являются: негерметичность технологическо-

го оборудования, неэффективная работа аспирации, несовершенство технологического оборудования, применение ручного труда, что затрудняет использование аспирации. При таких условиях в большинстве производств пыль накапливается в помещении непрерывно.

Особенностью технологического процесса механической обработки древесных материалов является то, что в этом процессе всегда имеется горючее вещество (древесина) и окислитель (воздух) и в производственном помещении всегда имеются две зоны, в которых может образоваться пылевоздушная смесь: емкости оборудования и пространство, необходимое для обслуживания и управления процессом. При этом в объеме оборудования нельзя исключить возможность образования 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.

Разработка мероприятий по обеспечению пожаровзрывобезопасности процесса должна начинаться с создания схемы анализа процесса. Такой подход позволяет сделать минимальными затраты на создание системы предупреждения пожаров, взрывов и систем пожаровзрывозащиты.

Практика показывает, что попытка достичь нормируемого уровня пожаровзрывобезопасности производства на последних стадиях его создания требует значительных материальных затрат.

Безопасность обслуживающего персонала, сохранение оборудования от возможных разрушений определяются правильной оценкой степени опасности технологического процесса и выбором соответствующих инженерных решений, направленных на достижение уровня безопасности, регламентируемого нормативными документами.

Как только в технологическом оборудовании появляется пылевоздушная смесь, то из-за неполной его герметизации возможно поступление пыли в зону обслуживания и в производственное помещение. Пылевые отходы под действием турбулентной диффузии и других факторов распространяются по всему помещению. При этом твердая фаза пылевых отходов осаждается на поверхностях строительных конструкций, оборудовании, системах аспирации, на полу, образуя слой пыли. Именно эта пыль представляет собой большую опасность, так как при взрыве пылевоздушной смеси в объеме оборудования или в помещении она взвихрится и происходит вторичный взрыв.

Разработку мероприятий по обеспечению пожаровзрывобезопасности процесса необходимо начинать с создания схемы анализа процесса. Такой подход позволяет сделать минимальными затраты на создание системы предупреждения пожаров, взрывов и систем пожаровзрывозащиты.

Рассмотрим процесс принудительного удаления пыли, образующей-

ся при обработке древесных материалов внутри ограниченного объёма оборудования, чья конфигурация известна. Этот объём сообщается с окружающим пространством цеха посредством, по меньшей мере, трех проемов в стенках оборудования. Один из проемов используется для загрузки обрабатываемого материала внутрь рассматриваемого объёма, второй – для извлечения уже обработанной древесины из объёма, а через третий осуществляется отсос древесной пыли, образующейся при обработке. Как правило, первые два проема располагаются на противоположных боковых стенках оборудования, а третий – сверху рабочего объёма.

Строгая формулировка задачи о расчете оптимальных параметров рабочего объёма, конфигурации и размеров имеющихся в его стенках проемов и мощности отсасывающего пыль устройства может быть достигнута на основе математической теории переноса воздушным потоком или иным газом V пассивной примеси Tr , взвешенной в воздухе или ином газе. Во всех этих случаях как исходная должна быть рассмотрена следующая система дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dV(x, y, z)}{dt} = -\alpha(x, y, z) \nabla p(x, y, z) + g + F_1(t, x, y, z), \\ \frac{d\alpha(x, y, z)}{dt} = \alpha(x, y, z) \nabla \cdot V(x, y, z), \\ \frac{dTr(x, y, z)}{dt} = -Tr(x, y, z) \nabla \cdot V(x, y, z) + F_2(t, x, y, z), \\ \frac{dp(x, y, z)}{dt} = -p(x, y, z) \nabla \cdot V(x, y, z), \\ p(x, y, z) \alpha(x, y, z) = RT(t, x, y, z), \end{array} \right. \quad (1)$$

где $V \equiv V(x, y, z)$ – вектор скорости воздуха или газа в точке внутри рассматриваемого рабочего объёма с координатами x, y, z . Горизонтальные компоненты этого вектора ниже будут обозначаться как u и v , а вертикальная компонента – w ;

$\frac{dQ(x, y, z)}{dt}$ – индивидуальная производная, характеризующая пространственно-временные изменения характеристики Q в окрестности точки с координатами x, y, z . В качестве характеристики в Q (1) фигурируют: скорость воздуха или газа ($Q \equiv V$), давление ($Q \equiv p$), удельный объём ($Q \equiv \alpha$) воздуха или газа и удельное количество древесной пыли в единице объёма воздуха или газа ($Q \equiv Tr$). При этом индивидуальная производная связана с локальными производными по времени и пространству (частными производными) соотношением

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

$R \equiv c_p - c_v$ и $T(t, x, y, z)$ обозначают газовую постоянную и температуру воздуха или газа. Последняя, в принципе, может меняться во времени (аргумент t) и по пространству (аргументы x, y, z), но в рассматриваемой задаче температуру можно считать постоянной, ибо никакого специального нагрева или охлаждения воздуха в рабочем объеме оборудования не производится. Конечно, в процессе обработки древесины выделяется некоторое количество тепла, но, полагая нормальный процесс деревообработки стационарным, это тепловыделение более или менее постоянно во времени, а выделившееся тепло уносится из рабочего объема вместе с высасываемым воздухом равномерно во времени. Поэтому вполне допустимо считать температуру постоянной в любой точке рассматриваемого рабочего объема и в любой момент времени рабочего процесса обработки древесины;

$g, F_1(t, x, y, z), F_2(t, x, y, z)$ представляют собой силу тяжести, внешнюю силу, действующую на рассматриваемый объем воздуха или газа внутри рабочего объема оборудования (это – не что иное, как мотор, обеспечивающий отсос воздуха из рабочего объема оборудования), и источник древесной пыли, активный во время обработки древесины, загруженной в рабочий объем для обработки. Обе силы (F_1 и F_2), вообще говоря, являются функциями времени и пространственных координат на границах рабочего объема. Например, такая зависимость существует, если регулярно меняется режим и характер обработки древесины, и/или, если интенсивность отсасывания воздуха из рабочего объема контролируется в зависимости от того, как сильно запылен воздух в рабочем объеме. Но самым обычным случаем является стационарный режим деревообработки без какого-либо контроля и управления процессом пылеудаления из рабочего объема. В этом случае обе внешние силы можно считать константами. Это значительно упрощает рассмотрение задачи.

Поскольку рабочий объем ограничен своими стенками, необходимо добавить к системе (1) 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. В самом простом случае можно принять условие непроникновения древесной пыли и непротекания воздуха или газа через стенки, включая только протекание через проемы. Проникновением древесной пыли через проемы в боковых стенках оборудования, служащих для загрузки древесины, подлежащей обработке, и извлечения обработанного материала, можно пренебречь из-за его незначительности, по сравнению с удалением пыли через проемы в потолочной стенке рабочего объема за счет принудительного отсасывания.

Принимая эти граничные условия и учитывая вышеприведенные со-

отношения между индивидуальной и локальными производными, из системы (1) можно выделить уравнение в частных производных, описывающее перенос древесной пыли воздушным потоком, существующим внутри рабочего объёма,

$$\begin{aligned} \frac{\partial Tr(x, y, z)}{\partial t} = & -u(x, y, z) \frac{\partial Tr(x, y, z)}{\partial x} - v(x, y, z) \frac{\partial Tr(x, y, z)}{\partial y} - \\ & - (w(x, y, z) - gt) \frac{\partial Tr(x, y, z)}{\partial z} + F_2(t, x, y, z) \end{aligned} \quad (2)$$

Уравнения в частных производных, описывающие сам воздушный поток, при этом выглядят как

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial u(x, y, z)}{\partial t} = & -u(x, y, z) \frac{\partial u(x, y, z)}{\partial x} - v(x, y, z) \frac{\partial u(x, y, z)}{\partial y} - w(x, y, z) \frac{\partial u(x, y, z)}{\partial z} - \\ & - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p(x, y, z)}{\partial x}, \\ \frac{\partial v(x, y, z)}{\partial t} = & -u(x, y, z) \frac{\partial v(x, y, z)}{\partial x} - v(x, y, z) \frac{\partial v(x, y, z)}{\partial y} - w(x, y, z) \frac{\partial v(x, y, z)}{\partial z} - \\ & - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p(x, y, z)}{\partial y}, \\ \frac{\partial w(x, y, z)}{\partial t} = & -u(x, y, z) \frac{\partial w(x, y, z)}{\partial x} - v(x, y, z) \frac{\partial w(x, y, z)}{\partial y} - w(x, y, z) \frac{\partial w(x, y, z)}{\partial z} - \\ & - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p(x, y, z)}{\partial z} + F_1(t, x, y, z), \end{aligned} \right. \quad (3)$$

где ρ – плотность воздуха или газа.

Определив начальное состояние системы (2) и (3), т.е. задав начальное распределение всех компонент скорости воздуха внутри рабочего объёма и его температуру, а также положив известным распределение пыли внутри рабочего объёма и задав внешние силы на его границах, можно определить распределение пыли внутри рабочего объёма для любого момента времени в будущем путем численного интегрирования системы уравнения (2) и (3). Таким образом можно определить, возможно ли возникновение опасных концентраций пыли при выбранном оборудовании и выбранных параметрах системы пылеудаления из рабочего объёма этого оборудования.

Однако это достаточно сложная вычислительная задача, требующая использования вычислительной техники. С целью получить предварительные и ориентировочные оценки без потери общности можно принять, что координатная ось x направлена по горизонтали от входного к выходному проему в боковых стенках рабочего объёма. Кроме того, с некоторой на-

тяжкой можно считать, что боковые стенки прорезаны проемами от начала и до конца по всей их ширине. Тогда уравнения (2) и (3) сильно упростятся, поскольку вторым из уравнений в (3) можно будет совсем пренебречь, а величину соответствующей горизонтальной скорости $v(x,y,z)$ положить равной нулю в оставшихся первом и третьем уравнениях системы (3) для зависимых переменных $u(x,y,z)$ и $w(x,y,z)$. Кроме того, окажется возможным пренебречь вторым членом в уравнении (2) для зависимой переменной $Tr(x,y)$.

Последнее оправданное упрощение проистекает из того, что в режиме нормальной эксплуатации можно считать, что внешние силы, приложенные к рассматриваемому объёму воздуха внутри оборудования, остаются постоянными. Это значит, что сам воздушный поток внутри рабочего объёма тоже постоянен. В результате из нелинейной системы (2), (3) можно получить линейную систему. Поясним, что нелинейной называется система уравнений, в правых частях которой встречаются члены, состоящие из произведений, по крайней мере, двух зависимых переменных. Например, в (2) таким членом является $-u(x,y,z) \frac{\partial Tr(x,y,z)}{\partial x}$. Если же любой член в правых частях рассматриваемых уравнений представляет собой произведение величины одной зависимой переменной на какой-либо известный (постоянный или меняющийся по известному закону) коэффициент, то система уравнений называется линейной. Во многих случаях интегрирование линейной системы от известных начальных условий можно выполнять аналитически, т.е. без использования вычислительных машин.

Таким образом, представляется, что на этапе эскизного проектирования пожаровзрывобезопасной системы деревообработки можно оценить конфигурацию системы пылеудаления весьма простым и дешевым путем. Разумеется, на последующей стадии отработки системы пылеудаления для выбора ее оптимальных как в смысле эффективности, так и в смысле себестоимости параметров, скорее всего, придется прибегнуть к численным расчётам возможных режимов, как это описывается системой уравнений (2) и (3).

Одним из важных этапов в определении уровня пожаровзрывоопасности объекта является расчет вероятности возникновения пожара или взрыва. Вероятностно-статистические методы наиболее приемлемы для расчета вероятности возникновения пожара или взрыва на объектах деревообрабатывающей промышленности, так как учитывают случайный характер пожаровзрывоопасных событий и позволяют оценить фактический уровень пожаровзрывоопасности технологического процесса, оборудования, помещения и здания, в которых они осуществляются.

Однако фазовые траектории внутри базисных множеств могут выглядеть очень сложно. Они могут иметь особенности, кажущиеся регулярными и случайными. При определении их асимптотического поведения

точное количественное решение некоторых задач может оказаться невозможным или нецелесообразным. Лучшее, на что можно будет надеяться, - это некоторая статистическая информация о вероятностях разного рода типов поведения траектории. Положение здесь оказывается близким к тому, что имеет место в статистической физике, где точное поведение каждой частицы в отдельности хотя и возможно, но нецелесообразно из-за огромного числа частиц, и где путем перехода к рассмотрению поведения больших ансамблей частиц удается получить

Авторами предложена модель пыленакопления в производственном помещении с учетом аэродинамического состояния среды. Оценка распределения попавшей в помещение пыли возможна как частный случай задачи о переносе пассивной примеси воздушным потоком. Основным при решении этой задачи является знание закона локальной эволюции, позволяющего установить прошлое, предсказать будущее состояние рассматриваемой динамической системы.

В качестве допущения примем, что пыль, попавшая в воздух помещения в результате какого-либо процесса, оседает с равномерной скоростью. Фактическая скорость оседания будет зависеть от характера пыли – формы пылевидных частиц, их веса и ряда других показателей, но все эти факторы можно считать непринципиальными. Простейший вариант задачи тот, когда рассматривается процесс осаждения пыли в неограниченном пространстве, а характер рассеивания пыли от источника определяется только горизонтальной диффузией, зависящей от неупорядоченных перемещений объемов воздуха. Тогда процесс рассеивания пыли можно моделировать с помощью уравнения типа:

$$\frac{\partial S(x, t)}{\partial x_i} = \alpha^2 \sum \frac{\partial^2 S(x, t)}{\partial x_i^2}, \quad (4)$$

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

Общее решение этого уравнения имеет вид:

$$S(x, t) = (2\alpha\sqrt{\pi t})^2 \int_R \exp\left\{-\frac{x^2}{4\alpha^2 t}\right\} g(z) dz, \quad (5)$$

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 (5) показывает, что пыль рассеивается со временем так, что ее концентрация убывает как гауссовская функция

$$\exp\left\{-\frac{x^2}{4\alpha^2 t}\right\}$$

по мере роста времени.

Задача усложняется, если имеются источники постоянного движения воздуха в помещении. В этом случае уравнение (4) модифицируется следующим образом:

$$\frac{\partial S(x, t)}{\partial t} = \alpha^2 \sum \frac{\partial^2 S(x, t)}{\partial x_i^2} + k u^2(x). \quad (6)$$

Решение этого уравнения отличается от решения (5) только постоянным пространственным сдвигом:

$$S(x, t) = S(x + kut, t) = (2\alpha\sqrt{\pi t})^2 \int_R \exp\left\{-\frac{|x - z|^2}{4\alpha^2 t}\right\} g(z) dz. \quad (7)$$

Еще одно усложнение решения задачи по распределению пыли в помещении связано с учетом ограничения его объема. Для учета этого фактора достаточно задать условия на границах как условия отражения 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 пыли от стенок. Предлагаемая модель позволяет определить количество пыли, которое может накапливаться в производственном помещении за любой промежуток времени.

Особенностью технологического процесса механической обработки древесных материалов является образование во внутренних объемах оборудования, системе аспирации, пылеуловителях подвижной пылевоздушной смеси. При этом происходит электризация пыли и возникновение заряда статического электричества, который может явиться источником зажигания взвеси пыли. Знание минимальной мощности электрической искры при зажигании взвеси имеет большое практическое значение, так как дает возможность оценить чувствительность взвеси к воспламенению и установить допустимое значение электрического разряда.

Авторами предложена аналитическая зависимость, позволяющая определить величину энергии зажигания пылевоздушной смеси, образующейся при механической обработке древесных материалов. В некоторой области, занятой взвесью пыли в воздухе, происходит электрический разряд с выделением тепловой энергии Q и прогрев воздуха. Время разряда 10^{-6} с, время прогрева частицы пыли 10^{-2} с. Если энергия искры достаточно велика, происходит воспламенение пылевоздушной смеси. Температура, при которой происходит зажигание горючей смеси, зависит от соотношения тепловых активностей нагретого тела и горючей среды.

Система уравнений зажигания имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} C_1 \rho_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = q_T a z_T \exp \left\{ \frac{E_1}{R_1 T_1} \right\} - \alpha S (T_1 - T_2); \end{array} \right. \quad (8)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C_o^{-1} \frac{a}{\partial t} = K \left(1 - \frac{a}{C_o} \right) \exp - \left\{ \frac{E_1}{R T_1} \right\}; \end{array} \right. \quad (9)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C_2 \rho_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x^2} + \alpha S (T_1 - T_2) \end{array} \right. \quad (10)$$

где C_1, ρ_1, T_1 – теплоёмкость (Дж/К), плотность (кг/м³), температура пыли и воздуха соответственно, $\rho_1 = a_1 \rho_1^0$, здесь ρ_1^0, ρ_1 – физические и эффективные плотности; a – объёмное содержание пыли и воздуха; a_1 – объёмное содержание выделившихся газов при нагревании частиц пыли;

C_o – доля продуктов пиролиза в общем их количестве, получающаяся в результате полного разрушения связей данной группы;

S – удельная межфазовая поверхность (м²/кг);

K_o – 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);

E_2 – энергия активации при разложении древесины (кДж/К·моль);

t – время, с.

Уравнение (8) описывает горение выделившихся газов, уравнение (9) – разложение древесной пыли, уравнение (10) характеризует необходимую энергию.

Так как концентрация пыли незначительна, воздух от частиц пыли нагревается мало, т.е. вторым слагаемым правой части уравнения (10) можно пренебречь. Получим обычное уравнение теплопроводности:

$$C_2 \rho_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x^2}. \quad (11)$$

Решение системы уравнений зажигания позволяет получить условие зажигания

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

Расчет энергии зажигания пылевоздушной смеси, образующейся при механической обработке древесных материалов, показал, что для ее воспламенения необходима энергия $Q = 15$ МДж.

Таким образом, если в системах пылеудаления и пылеосаждения происходит электризация пыли и величина накопившейся энергии будет выше

15 МДж, возможно воспламенение пылевоздушной смеси.

В общем виде рекомендации по обеспечению пожаровзрывоопасности 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;
- объединение вытяжки систем должно быть технически обосновано;
- технологическое оборудование и трубопроводы необходимо выполнять пыленепроницаемыми, без собирающих пыль карманов;
- технологическое оборудование и трубопроводы необходимо оснащать взрыворазрядными устройствами, необходимо выявлять возможные источники зажигания 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 сооружениях необходимо предусматривать легко-сбрасываемые конструкции, площадь которых должна быть достаточной для стравливания избыточного давления, возникающего при взрыве пыли;
- в зданиях и сооружениях 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. – С. 318.
3. Сонечкин Д.М. Статичность в моделях общей циркуляции атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 280 с.
4. Сонечкин В.М., Татар А., Хорватх А. Оценка пожаровзрывобезопасности помещения при наличии пыли. 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.
5. 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.