

В.М. Сонечкин, Л.Т. Панасевич, Н.В. Тетерина
(Академии Государственной противопожарной службы МЧС России;
e-mail: info@academygps.ru)

ОПАСНОСТЬ РЕЗОНАНСА ВОЗДУШНОЙ ВОЛНЫ В ЗАМКНУТОМ ОБЪЁМЕ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Разработана математическая модель движения воздуха внутри рабочего объёма деревообрабатывающего оборудования. Моделирование показало, что опасные взвихрения древесной пыли могут появляться при резонансе воздушной волны.

Ключевые слова: опасность, древесная пыль, взвихрение.

V.M. Sonechkin, L.T. Panasevich, N.V. Teterina **DANGER OF RESONANCE OF AIR WAVE IN A CLOSED VOLUME OF WOODWORKING EQUIPMENT**

Developed a mathematical model of air motions within a working space of woodworking equipment. Modeling showed that dangerous whippings of air-wood dust can be appear at a resonance of air wave.

Key words: danger, wood dust, whirling.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 5 декабря 2010 г.

В настоящее время оборудование для обработки древесной заготовки часто помещается в замкнутый объём прямоугольной формы. Первичная деталь неподвижно закрепляется внутри объёма и её обработка производится при поступательно-возвратном движении по горизонтали режущей фрезы. Древесная пыль, образующаяся в процессе обработки, удаляется из объёма путем её отсоса через отверстие, расположенное вверху объёма вблизи той его боковой стенки, к которой направлено поступательное движение фрезы, то есть над тем участком объёма, где образуется больше всего древесной пыли.

Рассмотрим, как ведет себя древесная пыль, постоянно образующаяся в процессе деревообработки, осуществляемой внутри ограниченного объёма оборудования с известной конфигурацией. Пыль постоянно находится внутри рабочего объёма в виде взвеси, но в результате непрерывного отсоса её концентрация может поддерживаться на уровне, достаточно низком, чтобы предотвратить образование пожаровзрывоопасной пылевоздушной смеси. Под действием силы тяжести, электростатического электричества, абсорбционных свойств поверхностей оборудования и других факторов часть этой пыли постепенно оседает и откладывается на полу, стенках и потолке оборудования. В результате пыль накапливается в объёме обрабатывающего оборудования в отложенном состоянии и её внезапное взвихрение может привести к моментальному повышению пожаровзрывоопасного порога. Очевидно, решающими факторами такого взвихрения являются не только количество накопившейся на полу, стенках

и потолке оборудования пыли, но и скорость и направление потоков воздуха внутри рабочего объёма.

Особенностью процесса механической обработки древесных материалов является то, что образование и накопление пыли происходит при нормальном режиме работы технологического оборудования.

В зависимости от условий эксплуатации оборудования в отложившейся пыли может возникнуть тление от самовозгорания или постороннего источника зажигания.

Несмотря на почти замкнутый характер рабочего объёма, из-за перемещений фрезы внутри объёма неизбежно возникает движение воздуха. Это движение, в целом, носит турбулентный характер и потому способно взвихривать оставшуюся древесную пыль. Если масса взвихренной пыли превосходит критическую, возможно её самовозгорание.

Цель выполненной авторами работы – разработать математическую модель движения воздуха в рабочем объёме и на основе этой модели показать условия, способствующие опасному взвихрению древесной пыли.

Будем исходить из того, что движение воздуха в целом с небольшими скоростями внутри замкнутого объёма можно описать с помощью следующей системы уравнений с граничными условиями отражения на боковых стенках, полу и потолке объёма, исключая вытяжку в заданном месте потолка:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial u}{\partial t} = u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}, \\ \frac{\partial v}{\partial t} = u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y}, \\ -\frac{\partial p}{\partial y} = gp, \\ \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial pu}{\partial x} + \frac{\partial pv}{\partial y} + \frac{\partial pw}{\partial z} = 0, \end{array} \right.$$

где t – время;

u, v, w – скорости воздуха в направлении осей x (за которую примем направление поступательно-вращательного движения фрезы), y (перпендикулярной к предыдущей оси и горизонтальной) и z (направленной по вертикали вверх);

p – давление;

g – ускорение свободного падения;

ρ – плотность воздуха.

Эти уравнения являются нелинейными и, вообще говоря, могут быть решены только численно с заданием соответствующих начальных условий, то есть действующих сил, давления и всех трех компонент скорости в каждой точке рассматриваемого объёма. Однако в интересующем нас случае эти уравнения могут быть существенно упрощены. Действительно, в целом, диапазон возможных скоростей перемещения воздуха внутри объёма невелик и в среднем эти скорости малы.

Поэтому можно принять состояние покоя, которое существует внутри объёма перед началом деревообработки, за основное состояние и линеаризовать уравнения относительно этого состояния. Более того, по этим же причинам и, учитывая, что, несмотря на имеющийся отсос воздуха, перепад давления внутри объёма в рабочем цикле создается исключительно поступательно-возвратными движениями фрезы вдоль оси x , можно ограничиться рассмотрением только одного уравнения для компоненты скорости вдоль этой оси, то есть компоненты u . В результате приходим к следующей модели движений воздуха внутри рабочего объёма оборудования для деревообработки:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}.$$

В случае бесконечно большого объёма у этой модели есть единственное решение, имеющее вид суммы бегущих волн:

$$u(x, t) = \sum_m A_m \exp\{im(x - c_m t)\},$$

где i – мнимая единица;

m – волновое число;

A_m и c_m – амплитуда и скорость перемещения волны в направлении оси x .

В этой формуле принято, что амплитуды и скорости распространения волн не меняются по вертикали.

Эти бегущие волны разгоняются поступательно-возвратными движениям фрезы, так что фактически возбуждаются пары волн, соответствующих разным волновым числам: одни (в положительном направлении оси x) возбуждаются поступательным движением фрезы, а другие (в противоположном направлении) возбуждаются возвратным движением. Скорости распространения всех пар волн зависят только от соответствующих (поступательной и возвратной) скоростей движения фрезы. Поскольку возвратное её движение, как правило, происходит гораздо быстрее, чем поступательное движение, когда собственно и производится обработка древесины, как основную разгонную силу можно рассматривать только возвратное движение, то есть первой из каждой пары вышеуказанных волн вообще можно пренебрегать.

В реальности рабочий объём деревообрабатывающего оборудования ограничен стенками. С точки зрения динамики волны, небольшое отверстие для отсоса воздуха и негерметичность стенок, обеспечивающая компенсаторный подток воздуха взамен удаляемого из объёма при отсосе, не являются существенными. Поэтому необходимо учесть только отражения волн, возбуждаемых возвратными движениями фрезы, от противоположных боковых стенок объёма. Из-за небольших скоростей воздуха такие отражения можно считать происходящими без потери энергии волн на трение о стенки, так как скорости волн после отражения остаются равными их скоростям до отражения. Меняется только знак скорости (направление движения волн) на противоположный.

Рабочий цикл обработки древесины обычно состоит из серии поступательно-возвратных движений фрезы. Поэтому внутри объёма устанавливается движение воздуха, состоящее из серии волн, возбуждаемых периодически во

времени. Период этого возбуждения определяется одним полным циклом поступательно-возвратного движения фрезы, поэтому их всех в принципе возможных волн возбуждается только одна волна, волновое число которой пропорционально периоду возбуждения. Эта волна распространяется до противоположной боковой стенки, отражается там и доходит обратно до той стенки, у которой она была первоначально возбуждена. От этой стенки она снова отражается и распространяется снова к противоположной стенке. В это же время фреза возбуждает новую волну, которая начинает такой же цикл движений. Возникает целая серия волн с одним и тем же волновым числом. Решающе важным для того, как все эти волны складываются в общее движение воздуха внутри рабочего объема, является отношение периода возбуждения этих волн движениями фрезы к периоду пробега каждой отдельной волны от одной боковой стенки до другой. Если это отношение таково, что новая волна возбуждается очередным циклом движения фрезы в тот момент, когда к месту её возбуждения приходит ранее возбужденная волна, отразившаяся от противоположной стенки, то эти две волны гасят друг друга. Если это отношение таково, что момент возвращения волны к месту её первоначального возбуждения и момент возбуждения в этом месте новой волны совпадают, то энергии обеих волн складываются. Многократное сложение энергий ранее и вновь возбужденных волн известно как резонанс. При резонансе суммарная скорость движения воздуха существенно возрастает. Именно такое резонансное ускорение движения воздуха может привести к превышению порога взвихрения древесной пыли внутри рабочего объема.

Чтобы избежать резонанса, для каждого фиксированного объема оборудования надо подбирать соответствующие скорости движения фрезы. Это, в принципе, несложно сделать, измеряя с помощью анемометров скорость горизонтального потока воздуха внутри объема и затем определяя по ней время перемещения воздушных частиц от одной боковой стенки объема до другой. Период рабочего цикла поступательно-возвратных движений фрезы должен быть некратным этому времени для того, чтобы исключить возможность резонанса.

Литература

1. *Корольченко А.А.* Пожаровзрывоопасность промышленной пыли. М.: Химия, 1986. 216 с.
2. *Оценка* пожаровзрывоопасности технологического процесса механической обработки древесных материалов / Сонечкин В.М., Галайда М.С., Хорватх А., Хоффманн И. // Вестник Академии ГПС МЧС России, № 3. М., 2005. С. 18-25.
3. *Сонечкин В.М., Панасевич Л.Т., Рачкаускас А.* Факторы пожарной опасности процесса механической обработки древесных материалов // Вестник Академии ГПС МЧС России, № 7. М., 2007. С. 121-125.
4. *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.