

*С.Д. Муравьев¹, канд. тех. наук, ст. науч. сотр., А.В. Буханцов²,
(¹ЗАО «Специнжсаладка АСУ», Харьков, ²Харьковский национальный технический
университет сельского хозяйства им. П. Василенко)*

ГОРИТ ИЛИ ВЗРЫВАЕТСЯ ПЫЛЬ В СОСТОЯНИИ АЭРОВЗВЕСИ

Приведен анализ аварийности на предприятиях зерновой индустрии и смежных отраслей промышленности, вызванных пожарами и взрывами, в странах дальнего и ближнего Зарубежья, а также в Украине. Ставится под сомнение взрываемость пылевоздушных смесей. Выносятся предположение, что последствия взрывов вызванных детонацией газовой среды, образующейся в процессе деструкции веществ и материалов при нагревании и последующим горении. Приведена упрощенная математическая аргументация в пользу теории горения пыли, и обосновывается реальная возможность взрыва газовой среды. Основная задача: поставить вопрос горит или взрывается пыль в состоянии аэровзвеси и наметить научные предпосылки для ответа на него.

Ключевые слова: авария, последствия, пылевоздушная смесь, газовой среды, горение, деструкция взрыв.

Постановка проблемы. Аварии на предприятиях хранения и переработки зернопродуктов приводят к реальной угрозе социальной и техногенной катастрофы.

Статистика аварий в Японии, США и странах Западной Европы показывает, что 62% всех взрывов приходится на зерноперерабатывающую промышленность. На предприятиях США только за 10 лет (1985-1995) произошло 137 взрывов, в которых погибло 141 человек и 381 – были травмированы. На производстве комбикормов в Германии широко известны 8 больших аварий, которые привели к гибели 30 человек и к травмам ещё 60. При таком количестве погибших считать материальные убытки было бы не этично. [1, 2].

В Куйбышевской области (РФ) практически одновременно произошли аварии на десятках предприятий. Томиловский элеватор претерпел в течение 2 лет 60 взрывов.

В Воронежской области (РФ) авария приобрела неуправляемый характер; аварийный элеватор представлял угрозу населенному пункту; ликвидировать аварию пришлось путем расстрела элеватора боевыми снарядами тяжелой техники.

Не лучшим образом обстоят дела и в Украине.

За последние 30-35 лет большие пожары и взрывы имели место на элеваторах, мельницах и комбикормовых заводах Днепропетровской, Крымской, Николаевской, Харьковской, Одесской, Черниговской областей. Авария и взрыв на Балаклеевском комбикормовом заводе в селе Савинцы Харьковской области забрала жизни 11 человек.

Причиной последствий аварий принято считать взрыв пыли. А может быть имел место взрыв газовой среды продуктов деструкции, образовавшейся в процессе горения пыли?

Ответом может быть разрешение вопроса «горит или взрывается пыль».

Анализ последних достижений и публикаций. Анализ взрываемости пылевоздушного облака, их причин и последствий посвящен ряд работ (1, 2, 5, 6 7 и др.).

Постановка задачи и ее решение. Направленность статьи обусловлена трудностями при решении практических вопросов безопасности предприятий. Как-то спокойно (привычно) воспринимаются понятия «взрыв пыли», «пылевоздушный взрыв». Вопрос не праздный и не надуман. А пока попробуем его хотя бы поставить: «горит или взрывается пыль?».

Начнем с определений.

С.И. Ожегов [3] дает следующее определение взрыва:

1. Сопровождающееся сильным звуком воспламенение чего-нибудь вследствие мгновенного химического разложения вещества и образования сильно нагретых газов. Взрыв газов. Взрыв бомбы.

2. Разрушение чего-нибудь, произведенное при помощи такого разложения вещества. Взрыв скалы. Взрыв моста.

3. перен. Внезапное сильное и шумное проявление чего-нибудь. Взрыв смеха. Взрыв возмущения, негодования.

В первом определении обращает внимание «мгновенное химическое разложение», что в общем-то подспудно предопределяет детонационное разложение с формированием волны разрыва (слабого или сильного).

Второе определение, в общем-то, трудно отнести к определению «взрыв», оно скорее характеризует его последствия.

Третье определение оставим без комментариев.

Авторы [4] трактуют взрыв как:

1. Розрив вибухової речовини, спеціального снаряда, оболонки чого-небудь і т. ін., з дуже сильним звуком і великою руйнівною силою.

2. Хімічна реакція, при якій за дуже короткий час розширюються утворені гази, спричиняючи руйнівні дії.

Здесь можно с натяжкой характеризовать горение пылевоздушной смеси как взрыв. С натяжкой, потому что, такие понятия, как «очень сильный звук», «большая разрушающая сила», «очень короткое время» имеют смысл в обыденной жизни, но являются неопределенными в технических вопросах и не дают ответа на вопрос о наличии (формировании) ударной волны (волны давления сильного или слабого разрывов). Следовательно, из этих определений не следует ни подтверждения, ни опровержения квалификации термической окислительной реакции между пылью и кислородом воздуха как «взрыв».

Васильев Я.Я. и Семенов Л.И. [5] приводят следующую трактовку взрыва:

Пылевой взрыв – это неконтролируемый процесс взрывного (дефлаграционного) горения.

Отличительная особенность горения пылевоздушных смесей в сравнении с газовыми заключается в том, что взаимодействие между горючим и окислителем может осуществляться только на поверхности раздела химически активных фаз системы.

В данных трактовках нет понятий «разложение», «разрыв», а явно указано на процесс горения. Сомнение может вызвать слово «взрывное», но во второй фразе указывается на растянутый во времени процесс горения (о детонации горения говорить проблематично).

Из приведенных определений нельзя сделать однозначный вывод.

Обратимся к математическому пониманию «взрыва» и сопровождающее его давление, приводящее к разрушительным последствиям.

В результате детонационного разложения вещества (взрыва) расширяющиеся продукты формируют волну давления сильного (ударная волна) или слабого разрыва. Разница заключается в том, что на фронте волны давления терпят разрыв параметры (скорость, давление и температура), а на фронте ударной волны терпят разрыв и их производные; волна давления слабого разрыва распространяется в пространстве со скоростью звука, а ударная волна со сверхзвуковой скоростью. Следует отметить, что ударная волна, в силу рассеивания энергии, на относительно коротких расстояниях (зависит от мощности взрыва и условий распространения) трансформируется в волну давления слабого разрыва.

Общим является то, что на фронте волны давления наблюдается разрыв как минимум параметров, из чего следует, что давление на фронте возрастает «мгновенно».

В [6] описывается взрыв в комбикормовом цехе: «Первоначальный взрыв произошел в силосе. При этом процесс взрыва развивался сравнительно медленно, сопровождался нарастающим гулом и выбросом в надсилосный этаж вначале холодного воздуха, вытесняемого расширяющимися продуктами горения, затем горячих газов ...».

Обращает на себя внимание факт *сравнительно медленного* развития процесса. Т.е. взрыва, как такового, не было; было горение пыли с возрастающей скоростью, но не переходящее в детонацию.

Там же в [6] описана авария вследствие взрыва мучной пыли на мукомольном заводе «Роланд» производительностью 2200 т/сут (Бремен, ФРГ): «по интенсивности произошедших разрушений взрыв, по данным специалистов, эквивалентен действию 20 т взрывчатого вещества» (ВВ).

Настораживают два фактора.

Первый. Не трудно себе представить, что 20 т ВВ в эпицентре взрыва не только уничтожат «половину всех производственных зданий и сооружений на площади 40 тыс. м² [7]» (4 га), но и оставят руины на гораздо большем участке.

Второй. Где могло поместиться более 20 т пыли в состоянии взвеси (пылевое облако) на мукомольном заводе?

Из этих двух факторов возникает также два вопроса:

- может быть разрушительные воздействия являются следствием не только взрыва пылевоздушной среды, но и газовой взрыва?
- а взрывается ли пыль (мучная, зерновая) вообще, или она горит?

Итак, основной вопрос статьи: «Горит или взрывается пыль?» остается открытым.

Авторы склонны думать, что пылевоздушная смесь горит.

Мысль о проблематичности пылевоздушных взрывов прослеживается и в [8]: «... длина преддетонационного участка для ПВС (пылевоздушная смесь, прим. автора) в производственных условиях весьма велика, и поэтому масштабная детонация на мукомольных заводах и элеваторах вряд ли возможна».

От решения вопроса зависят основные подходы как к решению проблемы обеспечения безопасности предприятий, так и конструктивно-технологических решений.

Например, если пыль горит, исключается сейсмическое воздействие взрыва, воздействие ударной волны на здания, сооружения и человека. В этом случае можно говорить лишь о квазистационарном повышении давления в объеме и о распространении высокоскоростных газовых струй. Согласитесь, по поражающему воздействию вариант «более мягкий», чем при взрыве.

Трактовка горения пылевоздушной смеси, как взрыва, напоминает ситуацию с порохами: несмотря на то, что пороха относятся к взрывчатым веществам, но к метательным, и затруднительно в научно-технической литературе найти сведения о взрыве порохов (бризантные взрывчатые вещества взрываются, а пороха горят [9], рис. 1).

Попробуем рассмотреть вопрос с привлечением математического аппарата.

В произвольном объеме W_0 (м³) находится мучная пыль с концентрацией K_0 (%).

Частицы пыли, в общем случае, могут иметь произвольную форму [10]. Этот факт можно учесть введением поправочных коэффициентов по результатам эксперимента. В мучной пыли (мука первого сорта при односортовом помоле) содержится 72% муки, 7% мучки кормовой, 18,5% отрубей, 3,5% отходов ([10], табл. 80).

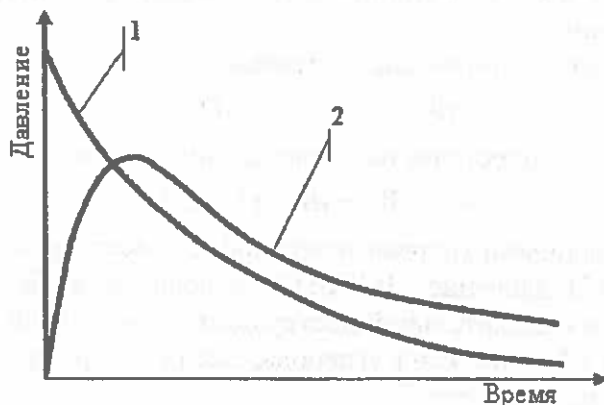


Рис. 1. Профили волн давления:
1 – при взрыве; 2 – при горении

Не зная (пока) показателей горючести, будем считать (допущение), что вклад примесей в процесс горения составляет 50% от их количества.

Тогда условная концентрация K_{0y} (%) мучной пыли в объеме W_0 составит:

$$K_{0y} = K_0 \cdot (72 / 100 + 28 / 100 / 2) = K_0 \cdot 0,86.$$

С допущением (самая простая постановка задачи), что частицы пыли одинаковы и имеют сферическую форму диаметром D_0 , в помещении находится N частиц:

$$N = W_0 \cdot K_{0y} / 100 / (\pi \cdot D_0^3 / 6).$$

Они, в общем объеме W_0 , занимают объем $W_{0n} = N \cdot \pi \cdot D_0^3 / 6$. Следовательно, объем газозвдушного пространства W_{0zn} составляет:

$$W_{0zn} = W_0 - W_{0n}.$$

При горении параллельными слоями (по аналогии с порохами [9, 11]) за бесконечно малый промежуток времени dt выгорает толщина частицы dh (рис. 2).

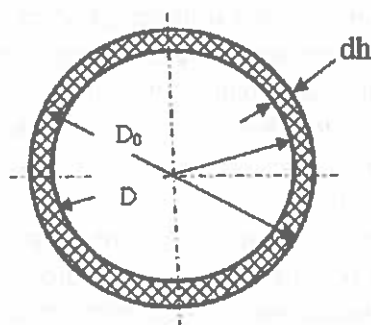


Рис. 2. Схема горения частицы пыли

Величина dh зависит от скорости выгорания U_{gz} и равна

$$dh = U_{gz0} \cdot dt,$$

где U_{gz0} – скорость выгорания при нормальных условиях.

Далее можно считать, что скорость выгорания пропорциональна давлению, т.е.

$$U_{gz} = U_{gz0} \cdot p,$$

где U_{gz} – скорость выгорания при давлении в объеме p .

При этом, частица уменьшается в размере и приобретает диаметр

$$D = D_0 - 2 \cdot dh.$$

Диаметр D является исходным для проведения следующей итерации (при решении задачи итерационным методом).

Количество выгоревшего материала составляет:

$$dW = \pi / 6 \cdot (D_0^3 - D^3).$$

Объем газозвдушного пространства с учетом коэффициента зольности K_3 составит:

$$W_0' = W_0 + dW \cdot (1 - K_3).$$

Далее исходными данными (первая итерация) для всех расчетов принимаем условия стандартной атмосферы [12]: давление – 0,1 МПа, температура в объеме – 20° С.

При горении и термоокислительной деструкции мучной пыли и продуктов переработки зерна генерируются [13-15]: диоксид углерода, оксид углерода, метан, водород, кетоны, сероводородные соединения и др. (рис. 3).

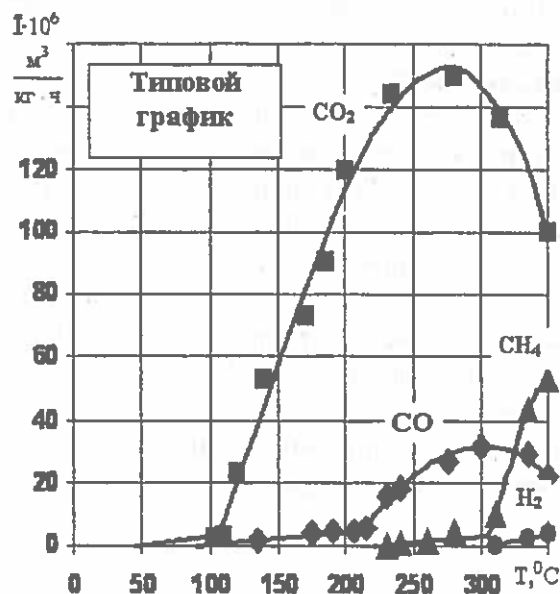


Рис. 3. Зависимость удельной интенсивности газообразования от температуры

Количество выделившихся газов определяется зависимостью:

$$W_{21} = dW \cdot Y.$$

При достижении нижнего концентрационного предела взрываемости бинарного (CO+CH₄) или тринарного (CO+CH₄+H₂) газового состава – газовый взрыв (треугольник взрываемости замкнулся: взрывоопасное вещество, кислород воздуха, источник зажигания).

Вывод

Приведенные анализ и рассуждения далеко не исчерпывают положительные моменты перехода от теории взрыва пылевоздушных смесей к их горению. Однако, несмотря на сомнения и умозаключения, пока не доказано (и не на «кончике пера», а экспериментально), что зерновая и мучная пылевоздушные смеси горят, обязаны в практической работе считать, что они взрываются.

Список литературы:

1. Zhang Fen-fen, Zhang Chun-xiao. Grain dust explosion and its prevention in China grain silos // Proc. Shenyang Int. Symp. Dust. Explos., Shenyang, Sept. 14-16, 1987, 556-567.
2. Mentel S. Hasenie poziarov v silach a zasobnikoch // Poziantik, 1988, 65, N 14, 14-15.
3. Ожегов С.И. Словарь русского языка, 1988.
4. Великий тлумачний словник сучасної української мови, 2002.
5. Васильев Я.Я., Семенов Л.И. Взрывобезопасность на предприятиях по хранению и переработке зерна. – М.: Колос, 1983. – 224 с., ил.
6. Семенов Л.И., Теслер Л.А. Взрывобезопасность элеваторов, мукомольных и комбикормовых заводов. М.: Агропромиздат, 1991. – 367 с.: ил.
7. Единые правила безопасности при взрывных работах. Госгортехнадзор СССР. М.: Недра, 1972, – 320 с.
8. Волков В.Э. Проблемы перехода горения в детонацию // Хранение и переработка зерна. Ежемесячный научно-практический журнал. – № 12 (90). – ООО ИА "АПК-Зерно", 2006. – С. 38-41.
9. Серебряков М.Е. Внутренняя баллистика ствольных систем и пороховых ракет. - М.: Оборонгиз, 1962 – 670 с.

10. Машков Б.М., Хазина З.И. Справочник по качеству зерна и продуктов его переработки. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1980. – 335 с.

11. Мацукин Ю.Г. Исследование гидродинамической штамповки на пресс-пушке: Дисс. канд. техн. наук: 05.07.04. – Харьков / Харьковский авиационный институт, 1966.

12. Авиационный технический справочник/ Александров В.Г., Майоров А.В., Потюков Н.П. – Изд.2-е, перераб. и доп. – М.:”Транспорт”, 1975. – 432 с.

13. Вогман Л.П. Пожаровзрывобезопасность процессов хранения сельскохозяйственной продукции: Дис. на соиск. уч. степени докт. техн. наук: 05.26.01. – М., 1993. – 461 с.

14. Провести дослідження та розробити методи виявлення процесів самонагрівання рослиної сировини в сховищах силосного типу, та розробити пропозиції щодо шляхів їх припинення: Отчет о НИР / УкрНИИПБ МВД Украины. – № ГР 0199U003335, Инв. № 12 – К. –1988.

15. Провести исследования и разработать предложения по повышению уровня противопожарной защиты мельниц и других подобных объектов путем использования новых эффективных систем автоматической сигнализации: Отчет о НИР / УкрНИИПБ МВД Украины. – К. – 2006.

С.Д. Муравйов, О.В. Буханцов

ГОРИТЬ ЧИ ВИБУХАЄ ПИЛ У АЕРОЗАВИСЛОМУ СТАНІ

Наведено аналіз аварійності на підприємствах зернової індустрії та суміжних галузей промисловості, викликаних пожежами та вибухами, в країнах дальнього та ближнього зарубіжжя, а також в Україні. Ставиться під сумнів вибуховість пилоповітряних сумішей. Виноситься припущення, що наслідки вибухів викликаних детонацією газоповітряного середовища, що утворюється в процесі деструкції речовин і матеріалів при нагріванні і подальшим горінні. Наведено спрощену математичну аргументація на користь теорії горіння пилу і обґрунтовується реальна можливість вибуху газоповітряного середовища. Основне завдання: поставити питання горить або вибухає пил в аерозавислому стані і намітити наукові передумови для відповіді на нього.

Ключові слова: аварія, наслідки, пилоповітряна суміш, газоповітряна суміш, горіння, деструкція, вибух.

S.D. Muravyov, A.V. Bukhantsov

CAN DUST EXPLODE IN A STATE OF AIR SUSPENSION

The article analyses accidents at the enterprises of grain industry and related industries, due to fires and explosions in the CIS and abroad, as well as in Ukraine. Dust air mixtures explosibility is questioned. The assumption that the effects of explosions caused by the detonation of the gas-medium formed in the process of degradation of substances and materials by heating and subsequent burning. A simplified mathematical reasoning is set in favor of the theory of burning dust and real possibility of explosion gas environment is proved. Main task is to raise the question whether dust in a state of air suspension can burn or blow up, and to outline a scientific ground to the answer.

Key words: accident, consequences, dust air mixture, gas air mixture, burning, destruction, explosion.

