

УДК 614.8:614.8.086.3

А.Л.Буякевич, ГУО «Гомельский инженерный институт» МЧС Республики Беларусь

**РАСЧЕТНОЕ ДАВЛЕНИЕ ВЗРЫВА ПЫЛИ В ПОМЕЩЕНИЯХ – ВОПРОСЫ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССЫ ПЫЛИ**

В работе осуществлен анализ действующих технических нормативных правовых актов системы противопожарного нормирования и стандартизации Республики Беларусь, рассматривающих вопросы определения категорий по взрывопожарной и пожарной опасности помещений, связанных с обращением взрывопожароопасной пыли. Выявлены существующие недостатки в методике определения расчетного избыточного давления взрыва. Предложены требования, которые необходимо включить в действующую методику.

Ключевые слова: аэровзвесь, аэрогель, взрывопожароопасная категория помещения, взрыв пыли, горючая пыль, давление взрыва, максимальное давление взрыва, пожароопасная категория помещения, пожароопасные свойства пыли, стехиометрическая концентрация пыли.

Постановка проблемы. Одним из основных факторов, влияющих на величину расчетного избыточного давления взрыва, является масса пыли способная образовать взрывоопасную смесь с воздухом. Проводимые расчеты категорий по взрывопожарной опасности для объектов хозяйствования выявили несоответствие зависимости давления взрыва от массы пыли. Данные несоответствия выражаются в том, что при больших количествах пыли расчетное давление взрыва превышает максимальное давление взрыва, установленное в лабораторных условиях, а также превышает стехиометрическую концентрацию пыли в воздухе.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является установление несоответствий в зависимости величины расчетного давления взрыва от массы пыли способной образовать взрывоопасную смесь с воздухом, а также образующей стехиометрическую концентрацию.

Изложение основного материала исследования по полным обоснованиям полученных научных результатов.

На территории Республики Беларусь расположено более 100 крупных промышленных предприятий, где в технологическом процессе обращаются или являются сопровождающим продуктом горючие пыли. Пыли – диспергированные твердые вещества и материалы с размером частиц менее 850 мкм [1]. Горючая пыль – дисперсная система, состоящая из твердых частиц размером менее 850 мкм, находящихся во взвешенном или осевшем состоянии в газовой среде, способная к самостоятельному горению в воздухе нормального состава [2].

В период с 2002 по 2011 годы на данных предприятиях произошло 4 пожара, сопровождавшиеся взрывами пылевоздушных смесей. В результате данных пожаров и взрывов ущерб составил около 4 млрд. рублей, погибло 14 человек [3]. И статистика чрезвычайных ситуаций в Европе и в мире в целом, связанных с взрывопожароопасностью пыли, свидетельствует об актуальности проблемы безопасности пылепроизводящих объектов. Пожарная безопасность объектов обеспечивается приведением их в такое состояние, при котором исключается возможность возникновения пожара, либо обеспечивается защита людей и материальных ценностей от пожара [4].

Для обеспечения соответствующего уровня пожарной безопасности, а также взрывобезопасности необходимо предусмотреть комплекс соответствующих мероприятий. Определение перечня таких мероприятий осуществляется с учетом категории по взрывопожарной и пожарной опасности. В соответствии с [5] по взрывопожарной и пожарной опасности помещения с наличием взрывопожароопасной пыли относят к категории Б (взрывопожароопасная) или В1-В4 (пожароопасная).

Обеспечение безопасности помещений с взрывопожароопасной категорией требует дополнительных финансовых затрат, т.к. необходимо предусмотреть дополнительные (относительно помещений, отнесенных к пожароопасной категории) требования. Например:

- устройство полов исключающих искрообразование при механических ударах [6],
- оборудование входов в эти помещения - тамбур-шлюзами [6];
- установка систем обеспечения взрывопреупреждения и взрывозащиты [7];
- оборудование автоматическими установками пожаротушения [8] и т.д.

Если занизить категорию взрывопожароопасности, под угрозу становится жизнь работающих на нем людей, сохранность зданий и технологического оборудования. Завышение категории взрывопожароопасности производства приводит к необоснованным затратам на строительство, а, соответственно, эксплуатацию здания в целом.

Следовательно, от правильного определения категории по взрывопожарной и пожарной опасности производственных и складских помещений с наличием взрывопожароопасных пылей зависит не только пожарная безопасность объекта, но и экономические потери от необоснованных затрат на ее обеспечение.

Отнесение к взрывопожароопасной категории может осуществляться вероятностным и детерминированным методами. Вероятностный метод основан на определении вероятности возникновения взрыва [7], которая не должна превышать величины 10^{-6} в течение года. Методика определения вероятности возникновения взрыва рассмотрена в ГОСТ 12.1.004-91 «Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность общие требования» [9].

Детерминированный метод определяет основным критерием для отнесения помещения с наличием взрывопожароопасной пыли к взрывопожароопасной или пожароопасной категории величину расчетного избыточного давления взрыва пыли способной перейти во взвешенное состояние (аэровзвесь), пыль в осевшем состоянии называется аэрогелем или просто гель [10]. При этом необходимо учитывать, что во взрыве могут участвовать как взрывоопасные (с нижним концентрационным пределом распространения пламени до 65 г/м^3 [11]), так и пожароопасные пыли (с нижним концентрационным пределом распространения пламени равном или большем 65 г/м^3 [11]), т.к. и те и другие относятся к горючим пылям [1].

Расчет избыточного давления взрыва определяется в по формуле [5]:

$$\Delta P = \frac{m N_T P_0 Z}{V_{св} \rho_B C_P T_0 k_H} \cdot \frac{1}{k_H}, \quad (1)$$

где: m – масса пыли, кг;

N_T – теплота сгорания, Дж/кг;

P_0 – начальное давление, кПа (допускается принимать равным 101 кПа);

$V_{св}$ – свободный объем помещения, м^3 ;

ρ_B – плотность воздуха до взрыва при начальной температуре T_0 , кг/м^3 ;

C_P – теплоемкость воздуха, Дж/кг·К (допускается принимать равной 1010 Дж/кг·К);

T_0 – начальная температура воздуха, К;

k_H – коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения. Допускается принимать k_H равным 3;

Z – коэффициент участия взвешенной пыли во взрыве рассчитывается по формуле:

$$Z = 0,5 \cdot F, \quad (2)$$

где F – массовая доля частиц пыли размером менее критического, с превышением которого аэровзвесь становится взрывобезопасной, т.е. неспособной распространять пламя. В отсутствие возможности получения сведений для расчета величины Z допускается принимать $Z = 0,5$.

Расчеты категорий помещений с наличием взрывопожароопасной пыли (выполняемые для субъектов хозяйствования), а также анализ формулы (1) показал ее несовершенство, а в некоторых случаях и недопустимость применения. Рассмотрим подробнее на примере следующего расчета.

Исходные данные:

помещение размерами (длина, ширина, высота соответственно) $L \times V \times H = 20 \times 10 \times 8$ м;
 максимальная температура воздуха в помещении 38°C или 311°K (для г.Гомеля) [12];
 обращается древесная сосновая пыль $H_t = 18731000$ Дж/кг [13];
 количество воздуха необходимое для сгорания 1 кг древесины - $3,74$ м³/кг при влажности 20% [14];
 плотность воздуха до взрыва $1,134748$ кг/м³ при $T_0 = 38^\circ\text{C}$;
 коэффициент участия взвешенной пыли во взрыве принимаем максимальным $Z = 0,5$.

Расчет давления взрыва пыли произведем последовательно для разного количества пыли с учетом того, что все другие параметры формулы (1) остаются неизменными.

Результаты расчета избыточного давления взрыва представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1 – Результаты расчета избыточного давления взрыва сосновой пыли

m, кг	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
ΔP , кПа	35	70	104	139	173	208	243	277	312	347	381	416	451	485	520	554

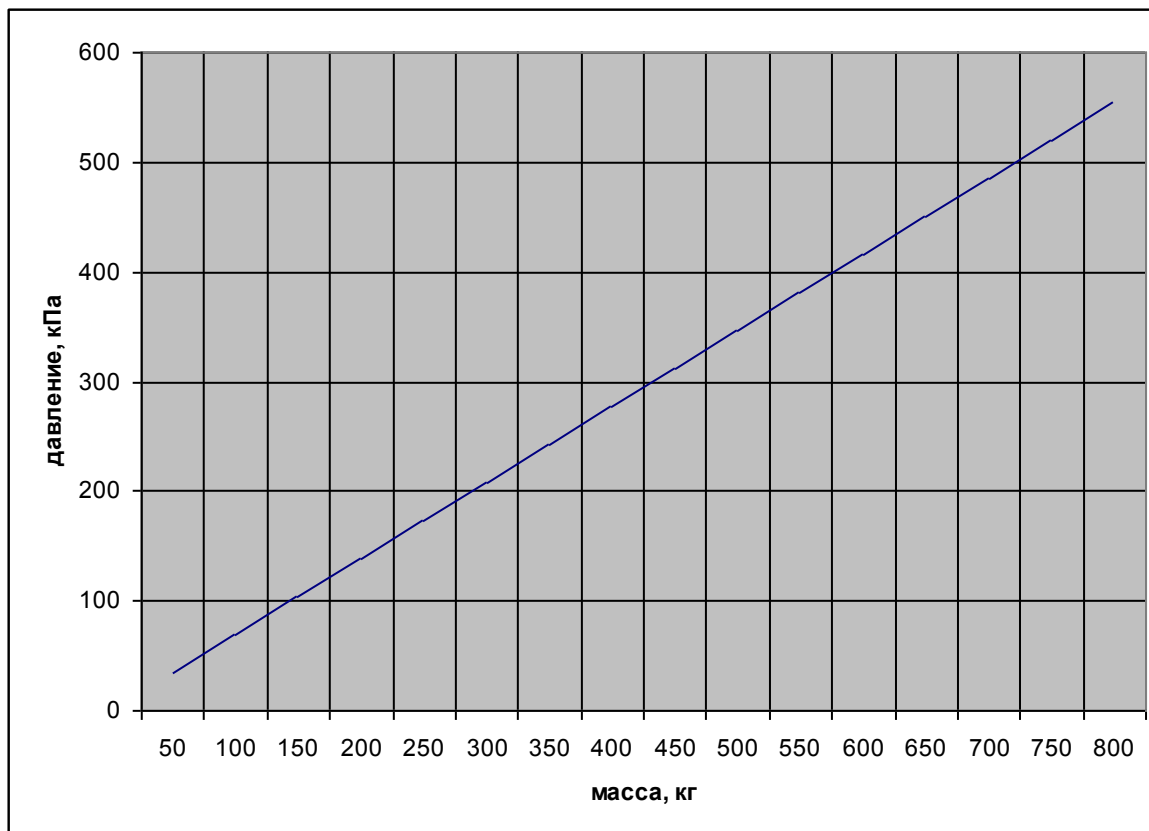


Рисунок 1 – Изменение величины расчетного максимального давления взрыва от массы пыли

Анализ проведенного расчета показал, что изменение (увеличение) величины расчетного избыточного давления взрыва происходит линейно в зависимости от увеличения

массы пыли. При этом увеличивая неограниченно массу пыли, увеличивается (согласно формулы 1 и рисунка 1) давление взрыва также неограниченно.

Так, увеличение массы пыли в помещении приводит к тому, что расчетное давление взрыва пыли при 800 кг составит 554 кПа, что не соответствует показателям пожарной опасности для пыли древесины сосновой согласно [13], где отмечается, что максимальное давление взрыва составляет 520 кПа.

Максимальное давление взрыва определяется согласно [1] в лабораторных условиях и является величиной максимальной. Т.е. давление взрыва пыли, определенное расчетным методом, не должно превышать величины максимального давления взрыва, установленного в лабораторных условиях согласно [1].

В реальных же условиях на давление взрыва в помещении влияет множество факторов:

- физические свойства пыли (влажность, дисперсность, дисперсный состав пыли, наличие горючих частиц других пылей и др.) [15];
- наличие легкосбрасываемых конструкций;
- высота выхода пыли из аппаратов при аварии [16];
- скорость осаждения частиц пыли [15];
- объем помещения (формула 1), т.е. количество воздуха участвующего во взрыве пыли и много других.

Следовательно, в реальных условиях давление взрыва пыли в помещении не должно превышать максимального давления взрыва, установленного в лабораторных условиях.

Рассмотрим, как влияет объем помещения или точнее количество воздуха необходимого для сгорания соответствующего количества древесной пыли. Результаты расчета представлены в таблице 2 и на рисунке 2.

Таблица 2 – Результаты расчета количества воздуха, необходимого для сгорания сосновой пыли

m, кг	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650
V, м ³	187	374	561	748	935	1122	1309	1496	1683	1870	2057	2244	2431

Расчет необходимого количества воздуха для сгорания соответствующем массы сосновой пыли показал, что для сгорания 650 кг пыли необходимо 2431 м³ воздуха притом, что свободный объем помещения составляет 1280 м³, т.е. не вся пыль сгорит при взрыве внутри помещения. Т.е. во взрыве будет участвовать только такое количество пыли, которое соответствует стехиометрической концентрации. Так при определении давления взрыва внутри технологического аппарата с наличием горючей пыли согласно [17] данный фактор учитывается. При определении же давления взрыва в помещении стехиометрическая концентрация пыли не учитывается. Следовательно, при расчете массы пыли (при ее избытке) необходимо учесть такое количество пыли, которое бы образовывало стехиометрическую концентрацию в воздухе помещения. При этом необходимо также учесть следующий факт.

Экспериментально установлено, что взрыв пылевого облака наиболее разрушителен при концентрации диспергированного твердого вещества, значительно превышающей стехиометрическую концентрацию (ввиду неполноты сгорания пыли во взрыве) [18]. Т.е. необходимо различать стехиометрическую концентрацию, установленную в лабораторных условиях или расчетным методом, и стехиометрическую концентрацию, определенную относительно нижнего концентрационного предела распространения пламени с использованием коэффициента учета количества пыли, участвующего во взрыве. Поэтому условно за стехиометрическую концентрацию (определяемого относительно нижнего концентрационного предела распространения пламени) принимать необходимо величину:

$$C_{cm} = 10 \cdot НКПР, \quad (3)$$

где НКПР – нижний концентрационный предел распространения пламени, г/м³.

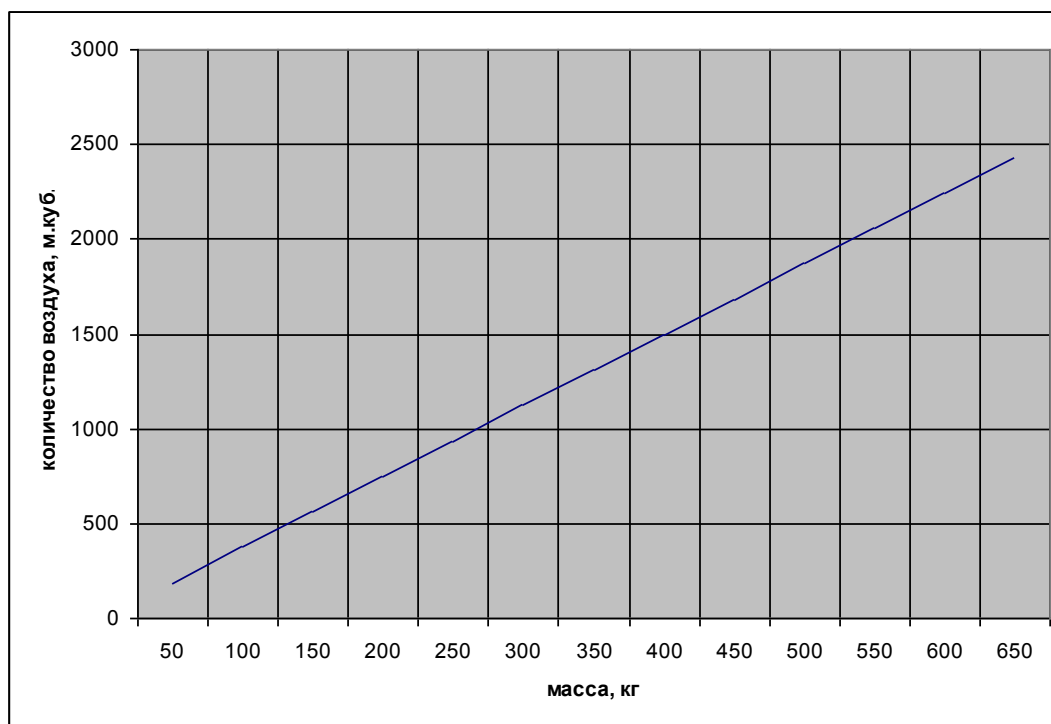


Рисунок 2 – Изменение количества воздуха необходимого для сгорания соответствующего количества сосновой пыли

Также отсутствует учет избытка массы пыли, не участвующей во взрыве. Так согласно [15] при испытаниях максимального давления взрыва полимеров установлено, что увеличение концентрации горючего (после стехиометрической концентрации) приводит к незначительному росту максимального давления взрыва, а затем к незначительному уменьшению. В этой области концентраций сказывается недостаток окислителя, приводящий к замедлению скорости горения и снижению температуры зоны горения.

Пункт А.3.1 [5] устанавливает предпосылки для определения массы горючей пыли, которая может образовывать взрывоопасные пылевоздушные смеси:

- расчетной аварии предшествовало пыленакопление в производственном помещении, происходящее в условиях нормального режима работы (например, вследствие пылевыведения из негерметичного производственного оборудования), между плановыми уборками пыли, определяемое экспериментально технологами. При отсутствии экспериментальных данных технологов допускается принимать пыленакопление, равное 5% от расчетного количества пыли, выделившейся из технологического оборудования при аварии;

- в момент расчетной аварии произошла плановая (ремонтные работы) или внезапная разгерметизация одного из технологических аппаратов, за которой последовал аварийный выброс в помещение всей находившейся в аппарате пыли.

Как видно данный пункт не учитывает вышеприведенные несоответствия при определении массы горючей пыли, участвующей во взрыве.

Выводы. Проведенный выше анализ методики определения расчетного давления взрыва пыли в помещении показал необходимость внесения изменений и дополнений в п. А.3.1 [5] введением требований:

1-е требование – давление взрыва пыли не должно превышать его максимального давления (установленного справочной литературой или испытаниями);

2-е требование – в случае образования концентрации пылевоздушной смеси, превышающей стехиометрическую концентрацию, расчетное количество пыли, участвующее во взрыве, не должно превышать стехиометрической концентрации пылевоздушной смеси. При этом необходимо учесть, что стехиометрическая концентрация пылевоздушной смеси

должна быть выше нижнего концентрационного предела распространения пламени, определенной согласно формуле 3.

Перспективы дальнейших исследований.

Для введения данных ограничений необходимо провести исследования по определению количества пыли участвующего во взрыве и определяющего давление взрыва, которое не должно превышать максимальное давление взрыва для данного вещества. А также при превышении стехиометрической концентрации пыли в воздухе помещения необходимо установить зависимость давления взрыва от количества пыли не участвующего во взрыве, т.е. того количества пыли, которое не смогло сгореть ввиду выгорания окислителя при горении стехиометрической пылевоздушной смеси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения : ГОСТ 12.1.044-89. – Переизд. с изм. №1. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 2006. – 99 с.
2. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывобезопасность горючих пылей. Общие требования : ГОСТ 12.1.041-83. – Переизд. с изм. №2. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 1990. – 14 с.
3. Буякевич, А.Л. Проблемы определения категории по взрывопожарной и пожарной опасности помещений, связанных с обращением пыли / А.Л. Буякевич [и др.] // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2012. – Том 7, – № 2. – С. 69–75.
4. О пожарной безопасности: Закон Респ. Беларусь от 15.06.1993 года №2403-ХП: с изм. и доп. принятыми Законами: от 03.05.1996 года №21, от 13.11.1997 года №87-3, от 11.01.2002 года №89-3, от 18.11.2004 года №338-3, от 29.06.2006 года №137-3, от 20.07.2006 года №162-3, от 14.06.2007 года №239-3, от 31.12.2009 года №114-3, от 30.11.2010 года №196-3. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2005. – Режим доступа: <http://www.pravo.by>. –Дата доступа: 26.09.2012.
5. Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности : ТКП 474-2013 (02300). – Введ. 15.04.2013. – Минск: НИИ ПБ и ЧС МЧС Республики Беларусь, 2013. – 53 с.
6. Ограничение распространения пожара в зданиях и сооружениях. Объемно-планировочные и конструктивные решения. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-2.02-92-2007 (02250). – Введ. 01.07.2008. – Минск : РУП «Стройтехнорм», 2008. – 34 с.
7. Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования : ГОСТ 12.1.010-76. – Переизд. с изм. №1. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 7 с.
8. Нормы пожарной безопасности Республики Беларусь. Область применения автоматических систем пожарной сигнализации и установок пожаротушения: НПБ 15-2007. – Введ. 01.03.2008. – Минск: НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси, 2008. – 44 с.
9. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования : ГОСТ 12.1.004-91. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 1992. – 81 с.
10. Годжелло, М.Г. Взрывы промышленных пылей и их предупреждение / М.Г. Годжелло – Москва : Издательство Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1952. – 138 с.
11. Таубкин, С. И. Пожар и взрыв, особенности их экспертизы [Текст] / С. И. Таубкин. – М., 1999. – 600 с.
12. Строительная климатология [Текст]. Изменение №1 СНБ 2.04.02–2000 = Будаўнічая кліматалогія. Змяненне №1 БНБ 2.04.02–2000. – Введ. 01–07–07. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2007. – 35 с. – (Национальный комплекс нормативно-технических документов в строительстве).
13. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения [Текст] : справ. изд. : в 2 кн. / А. Я. Корольченко, Д.А. Корольченко. – М: ПжНаука, 2004. – 1 кн. – 713с.