

УДК 614.8:614.8.086.3

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССЫ ПЫЛИ – РАСЧЕТ ДАВЛЕНИЯ ВЗРЫВА В ПОМЕЩЕНИИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫМ МЕТОДОМ**

А. Л. БУЯКЕВИЧ, начальник кафедры

С. Н. БОБРЫШЕВА, профессор кафедры, кандидат технических наук, доцент

А. В. КОЛТУНЧИК, курсант

И. В. ВАШКЕВИЧ, курсант

*Государственное учреждение образования «Гомельский инженерный институт»  
МЧС Республики Беларусь*

В данной статье осуществлен анализ действующих технических нормативных правовых актов системы противопожарного нормирования и стандартизации Республики Беларусь, в которых рассматриваются вопросы определения категорий взрывопожарной и пожарной опасности помещений, связанных с обращением взрывопожароопасной пыли. Выявлены недостатки в существующей методике определения расчетного избыточного давления взрыва и изложены требования, которые необходимо учитывать.

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

### **Введение**

На территории Республики Беларусь расположено более 100 крупных промышленных предприятий, где в технологическом процессе обращаются или являются сопровождающим продуктом горючие пыли. 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 [1], [2].

Взрывы пыли связаны с большими материальными и финансовыми потерями и человеческими травмами и жертвами. На территории Республики Беларусь наиболее ярким примером является пожар с несколькими каскадными взрывами, произошедший в 2010 г. на фабрике ДСП Холдинговой компании ЗАО «Пинскдрев», где общий материальный ущерб составил 3 949 319 997 р. и было потеряно 14 человеческих жизней. Статистика чрезвычайных ситуаций в Европе и в мире в целом, связанных с взрывопожароопасностью пыли, также свидетельствует об актуальности проблемы безопасности пылепроизводящих объектов.

### **Основная часть**

Пожарная безопасность объектов обеспечивается проведением мероприятий, исключая возможность возникновения взрыва и пожара, либо обеспечивается защита людей и материальных ценностей от этих опасных факторов [3]. Определение перечня таких мероприятий осуществляется с учетом категории по взрывопожарной и пожарной опасности. В соответствии с [4] 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, так как необходимо предусмотреть дополнительные (относительно помещений, отнесенных к пожароопасной категории) требования. Например:

- устройство полов, исключающих искрообразование при механических ударах [5];
- оборудование входов в эти помещения – тамбур-шлюзами [5];
- установка систем обеспечения взрывопредупреждения и взрывозащиты [6];
- оборудование автоматическими установками пожаротушения [7] и т. д.

От правильного определения категории по взрывопожарной и пожарной опасности производственных и складских помещений с наличием взрывопожароопасных пылей зависит не только жизнь и здоровье людей и сохранность материальных ценностей, и пожарная безопасность объекта в целом, 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 [6], 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» [8].

Детерминированный метод определяет основным критерием для отнесения помещения с наличием пыли к взрывопожароопасной или пожароопасной категории величину расчетного избыточного давления взрыва пыли в состоянии аэрогеля, способной перейти во взвешенное состояние – аэровзвесь [9]. При этом необходимо учитывать, что во взрыве могут участвовать как взрывоопасные (с нижним концентрационным пределом распространения пламени до  $65 \text{ г/м}^3$  [10]), так и пожароопасные пыли (с нижним концентрационным пределом распространения пламени, равном или большем  $65 \text{ г/м}^3$  [10]), так как и те, и другие относятся к горючим пылям [1].

Методика определения избыточного давления взрыва приведена в [4] и рассчитывается по формуле

$$\Delta P = \frac{mH_{\tau}P_0Z}{V_{\text{св}}\rho_{\text{в}}C_pT_0} \frac{1}{k_{\text{н}}}, \quad (1)$$

где  $m$  – масса пыли, кг;  $H_{\tau}$  – теплота сгорания, Дж/кг;  $P_0$  – начальное давление, кПа (допускается принимать равным 101 кПа);  $V_{\text{св}}$  – свободный объем помещения,  $\text{м}^3$ ;  $\rho_{\text{в}}$  – плотность воздуха до взрыва при начальной температуре  $T_0$ ,  $\text{кг/м}^3$ ;  $C_p$  – теплоемкость воздуха, Дж/кг · К (допускается принимать равной 1010 Дж/кг · К);  $T_0$  – начальная температура воздуха, К;  $k_{\text{н}}$  – коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения, допускается принимать  $k_{\text{н}} = 3$ ;  $Z$  – коэффициент участия взвешенной пыли во взрыве рассчитывается по формуле

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

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  $Z = 0,5$ .

Определение 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 следующем примере.

Исходные данные для примера:

– помещение размерами (длина, ширина, высота соответственно)  $L \times B \times H = 20 \times 10 \times 8 \text{ м}$ ;

- максимальная температура воздуха в помещении 38 °С или 311 °К (для г. Гомеля) [11];
- обращается древесная сосновая пыль  $H_T = 18731000$  Дж/кг [12];
- количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг древесины, – 3,74 м<sup>3</sup>/кг при влажности 20 % [13];
- плотность воздуха до взрыва – 1,134748 кг/м<sup>3</sup> при  $T_0 = 38$  °С;
- 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**

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

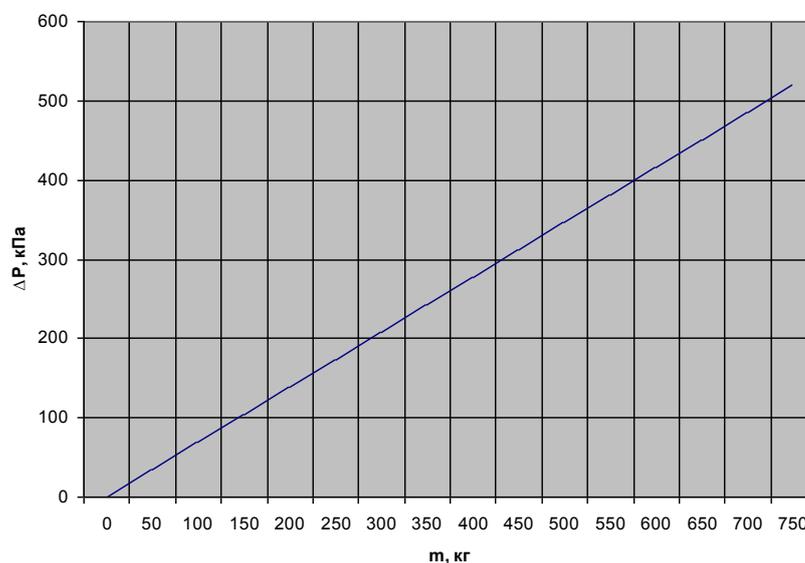


Рисунок 1 – Изменение величины расчетного избыточного давления взрыва от массы пыли

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 формуле 1 и рисунок 1) давление взрыва также неограниченно.

Так, увеличение массы пыли в помещении приводит к тому, что расчетное избыточное давление взрыва пыли при ее содержании в количестве 800 кг составит 554 кПа, что не соответствует показателям пожарной опасности для пыли древесины сосновой согласно [12], где отмечается, что максимальное давление взрыва составляет 520 кПа.

Максимальное давление взрыва определяется согласно [1] в лабораторных условиях или расчетным путем, т. е. избыточное давление взрыва пыли, определенное расчетным методом по формуле 1 с учетом атмосферного давления, не должно превышать величины максимального давления взрыва, установленного в лабораторных условиях согласно [1].

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

- физические свойства пыли (влажность, дисперсный состав пыли, наличие горючих и негорючих частиц других пылей и др.) [14];

- наличие легкобрасываемых конструкций;
- высота выхода пыли из аппаратов при аварии [15];
- скорость осаждения частиц пыли [14];
- объем помещения (формула 1), т. е. количество воздуха, участвующего во взрыве пыли, и много др.

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

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

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

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

В соответствии с расчетом объем воздуха, необходимый для сгорания 650 кг сосновой пыли, составил 2431 м<sup>3</sup>, притом, что свободный объем помещения составляет 1280 м<sup>3</sup>. Так как воздуха недостаточно, то при взрыве внутри помещения сгорит не вся пыль, т. е. во взрыве будет участвовать только такое количество пыли, которое соответствует стехиометрической концентрации. При определении давления взрыва внутри технологического аппарата с наличием горючей пыли согласно [16] 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 только такое количество пыли, которое бы образовывало стехиометрическую концентрацию в воздухе помещения. При этом необходимо также учесть следующий факт. Нужно 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 за стехиометрическую концентрацию (определяемую относительно нижнего концентрационного предела распространения пламени) необходимо принять условную величину:

$$C_{ст} = 10 \cdot НКПР, \quad (3)$$

где НКПР – нижний концентрационный предел распространения пламени, г/м<sup>3</sup>.

Также отсутствует учет избытка массы пыли, не участвующей во взрыве. Так, согласно [14] 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. Недостаток окислителя в этой области концентраций приводит к замедлению скорости горения и снижению температуры зоны горения.

Пункт А.3.1 [4] устанавливает предпосылки для определения массы горючей пыли, которая может образовывать взрывоопасные пылевоздушные смеси:

- при отсутствии экспериментальных данных технологов о пыленакоплении при нормальных режимах работы 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.

### Заключение

Проведенный выше анализ методики определения расчетного избыточного давления взрыва пыли в помещении показал необходимость внесения изменений и дополнений в п. А.3.1 [4] введением ограничений:

- 1-е ограничение – избыточное давление взрыва пыли не должно превышать его избыточного максимального давления (установленного справочной литературой или испытаниями);
- 2-е ограничение – 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, определенного согласно формуле 3.

Необходимо провести исследования по определению массы пыли, участвующей во взрыве. Расчетное избыточное давление взрыва не должно превышать максимальное давление взрыва для данного вещества. Также необходимо установить зависимость давления взрыва от количества пыли, не участвующего во взрыве при превышении стехиометрической концентрации пыли в воздухе помещения, т. е. того количества пыли, которое не смогло сгореть ввиду выгорания окислителя при горении стехиометрической пылевоздушной смеси.

### Литература

- 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 О пожарной безопасности : Закон Респ. Беларусь от 15.06.1993 г. № 2403-ХП : с изм. и доп., принятыми Законами от 03.05.1996 г. № 21 ; от 13.11.1997 г. № 87-3 ; от 11.01.2002 г. № 89-3 ; от 18.11.2004 г. № 338-3 ; от 29.06.2006 г. № 137-3 ; от 20.07.2006 г. № 162-3 ; от 14.06.2007 г. № 239-3 ; от 31.12.2009 г. № 114-3 ; от 30.11.2010 г. № 196-3. – Нац. Интернет-портал Респ. Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2005. – Режим доступа: <http://www.pravo.by>. – Дата доступа: 26.09.2012.
- 4 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 Респ. Беларусь, 2013. – 53 с.
- 5 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 : Стройтехнорм, 2008. – 34 с.
- 6 Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования : ГОСТ 12.1.010–76. – Переизд. с изм. № 1. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 7 с.
- 7 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.
- 8 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования : ГОСТ 12.1.004–91. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 1992. – 81 с.
- 9 Годжелло, М. Г. Взрывы промышленных пылей и их предупреждение / М. Г. Годжелло. – М. : Изд-во М-ва коммунального хоз-ва РСФСР, 1952. – 138 с.
- 10 Таубкин, С. И. Пожар и взрыв, особенности их экспертизы / С. И. Таубкин. – М., 1999. – 600 с.

- 11 Строительная климатология. 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. – (Нац. комплекс норм.-техн. док. в стр-ве).
- 12 Корольченко, А. Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : в 2 кн. / А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко. – М. : ПожНаука, 2004. – 1 кн. – 713 с.
- 13 Иванников, В. П. Справочник руководителя тушения пожара / В. П. Иванников, П. П. Ключ. – М. : Стройиздат, 1987. – 288 с.
- 14 Корольченко, А. Я. Пожаровзрывоопасность промышленной пыли / А. Я. Корольченко. – М. : Химия, 1986. – 216 с.
- 15 Пушенко, С. Л. Оценка взрывопожароопасности производств, связанных с выделением горючих пылей : дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / С. Л. Пушенко. – М., 1982. – 199 с.
- 16 Система стандартов пожарной безопасности. Пожарная безопасность технологических процессов. Методы оценки и анализа пожарной опасности : СТБ 11.05.03–2010. – Введ. 01.01.2011. – Минск : Госстандарт : НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси, 2010. – 76 с.
- 17 Тагиева, Л. В. Взрывобезопасность технологических процессов химико-фармацевтических производств : учеб. пособие / Л. В. Тагиева, Л. Н. Константинова, В. И. Якимов ; Ленинград. хим.-фарм. ин-т. – Л. : ЛФФО, 1990. – 62 с.

*Поступила в редакцию 30.10.2013*

**A. L. Buyakevich, S. N. Bobrysheva, A. V. Koltunchik, I. V. Vashkevich**  
**DETERMINING THE DUST MASS – CALCULATION OF EXPLOSION PRESSURE**  
**IN CLOSED CONFINES BY MEANS OF DETERMINISTIC METHOD**

The article presents the analysis of operating technical and legal instruments within the system of fire safety regulations and standards of the Republic of Belarus which deal with determining the categories of explosion and fire safety of dust containing closed confines. The shortcomings of the operating procedures of calculating explosion overpressure are revealed, and suggestions for amending the requirements are made.