

Математическое описание модели расчета взрыва ТВС

1. Введение

Данная математическая модель описывает процесс взрыва топливно-воздушной смеси (ТВС) и позволяет рассчитать основные параметры взрывной волны и поражающие факторы взрыва. Модель основана на методических рекомендациях РД 03-409-01 и научных исследованиях в области физики взрыва.

2. Исходные данные

Для расчета требуются следующие входные параметры:

- $M_{г}$ - масса горючего вещества (кг)
- $q_{г}$ - удельная теплота сгорания горючего вещества (кДж/кг)
- $c_{г}$ - концентрация горючего вещества в смеси (кг/м³)
- $c_{ст}$ - стехиометрическая концентрация горючего вещества (кг/м³)
- β - коэффициент участия горючего вещества во взрыве
- класс чувствительности вещества
- класс загроможденности пространства
- тип смеси (газовая/пылевая)
- условия расположения облака (наземное/приподнятое)

3. Основные расчетные формулы

3.1 Расчет эффективного энергозапаса

Эффективный энергозапас горючей смеси E (Дж) рассчитывается по формуле:

$$E = M_{г} \cdot q_{г} \cdot \beta \cdot k_{з}$$

где:

- $k_{з}$ - коэффициент загроможденности ($k_{з} = 2$ для приземного взрыва, $k_{з} = 1$ для приподнятого)

При известной концентрации вещества:

$$E = M_{г} \cdot q_{г} \cdot \beta \cdot \min(1, c_{ст}/c_{г}) \cdot k_{з}$$

3.2 Определение режима взрывного превращения

Режим взрывного превращения определяется на основе двух классификационных характеристик:

1. Класс чувствительности вещества (1-4)
2. Класс загроможденности пространства (1-4)

Режимы нумеруются от 1 до 6, где:

- Режим 1: детонация
- Режим 2-4: дефлаграция с высокой скоростью
- Режим 5-6: дефлаграция с низкой скоростью

3.3 Расчет скорости фронта пламени

Скорость фронта пламени V_{Γ} (м/с) определяется режимом взрывного превращения:

$V_{\Gamma} = 500$	для режима 1
$V_{\Gamma} = 400$	для режима 2
$V_{\Gamma} = 250$	для режима 3
$V_{\Gamma} = 175$	для режима 4
$V_{\Gamma} = 43 \cdot M_{\Gamma}^{(1/6)}$	для режима 5
$V_{\Gamma} = 26 \cdot M_{\Gamma}^{(1/6)}$	для режима 6

3.4 Расчет безразмерных параметров

Безразмерное расстояние R^- :

$$R^- = r / (E/P_0)^{(1/3)}$$

где:

- r - расстояние от центра взрыва (м)
- P_0 - атмосферное давление (101325 Па)

Безразмерное давление при дефлаграции P^- :

$$P^- = (V_{\Gamma}/c_0)^2 \cdot ((\sigma-1)/\sigma) \cdot (0.83/R^- - 0.14/R^{-2})$$

где:

- c_0 - скорость звука в воздухе (340 м/с)
- σ - степень расширения продуктов сгорания ($\sigma = 7$ для газовых смесей, $\sigma = 4$ для пылевых смесей)

Безразмерный импульс \bar{I} :

$$\bar{I} = (V_{\Gamma}/c_0) \cdot ((\sigma-1)/\sigma) \cdot [1 - 0.4((\sigma-1)/\sigma)(V_{\Gamma}/c_0)] \cdot (0.06/R^- + 0.01/R^{-2} - 0.0025/R^{-3})$$

3.5 Расчет размерных параметров

Избыточное давление P (Па):

$$P = P^- \cdot P_0$$

Импульс фазы сжатия I (Па·с):

$$I = \bar{I} \cdot (P_0)^{(2/3)} \cdot E^{(1/3)} / c_0$$

3.6 Расчет поражающих факторов

Пробит-функция:

$$Pr = 5 - 0.26 \cdot \ln[((17500/\Delta P)^{8.4}) + ((290/I)^{9.3})]$$

где:

- ΔP - избыточное давление (кПа)
- I - импульс фазы сжатия (Па·с)

Вероятность поражения P :

$$P = 0.5 \cdot [1 + \operatorname{erf}((Pr - 5)/\sqrt{2})]$$

где erf - функция ошибок.

4. Ограничения модели

1. Минимальное безразмерное расстояние $R_{\min} = 0.34$
2. Для газовых смесей $\sigma = 7$, для пылевых $\sigma = 4$
3. Модель применима для взрывов с энергозапасом до $5 \cdot 10^6$ МДж

5. Литература

1. РД 03-409-01 "Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей"
2. С.Г. Андреев, А.В. Бабкин, Ф.А. Баум и др. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. - Изд. 3-е, перераб. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004.
3. Baker W.E., Cox P.A., Westine P.S., Kulesz J.J., Strehlow R.A. Explosion hazards and evaluation. Elsevier, 1983.
4. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей (РД 03-409-01). Серия 27. Выпуск 2 / Колл. авт. — М.: НТЦ "Промышленная безопасность", 2010.