ТЕОРИЯ САМОВОСПЛАМЕНЕНИЯ СМЕШАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Мехтиев Д.С.

Национальная Академия Авиации

Одним из практически значимых проблем современности является безуспешные попытки нашей цивилизации по воссозданию и сохранению лесов на нашей планете. Однако, достижение 8-ми миллиардной отметки в численности населения планеты, приоритеты цивилизации и, связанные с ними характер деятельности человечества, а также не прекращающиеся в мире противостояния служат помехой в этом деле. Следует особо отметить, что процесс и механизм горения лесоматериалов однозначно вовсе не подчиняется установленному академиком Н.Н.Семёновым цепному механизму горения. Предсказание спонтанного самовозгорания материалов при долговременном их хранении является проблемой не решенной и требует разработки более точной модели самовоспламенения, которая позволила бы делать более достоверные прогнозы о возможном возгорании в особенности лесных массивов. Это весьма важно для предупреждения лесных пожаров через осуществление реальной оценки процесса возможного самовозгорания смесей их разнородных материалов. Известно, что скоростью изменения энтальпии обусловлен суммой кондуктивного переноса тепла и тепловой генерацией:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + q', \qquad (1)$$

где левая сторона является скоростью изменения энтальпии, а правая сторона отображает кондуктивный перенос тепла, q' - член, отображает генерацию тепла.

Решение уравнения (1) позволяет вычислить временное повышение температуры объекта с переходом на самовозгорание. Однако в инженерной практике часто используется метод Франк – Каменецкого, заключающийся в рассмотрении стационарного режима объекта.

Стационарное решение энергетического уравнения (1) можно получить, решая следующее упрощенное уравнение:

$$\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = -\dot{q}'. \qquad (2)$$

Базовые положения теории Франк–Каменецкого: 1.Тепло генерируется единичной реакцией, скорость реакции при данной температуре не является функцией времени. Скорость внутреннего нагрева определяется уравнением Аррениуса:

$$\dot{q}' = Q\rho A e^{-E/RT}, \qquad (3)$$

где Q -тепло реакции; ρ -объемная плотность материала; A - частота столкновений; R - универсальная газовая постоянная; E - энергия активации.

2. Допускается, что:

$$\varepsilon = \frac{RT_0}{E} << 1, \qquad (4)$$

где T_0 - температура окружающей среды.

3. Материал является изотропным, гомогенным и перенос тепла осуществляется только кондуктивным методом.

4.Передача тепла от материала в окружающую среду осуществляется методами конвекции и радиации. При этом :

$$B_i = \frac{h \cdot L}{\lambda}, \qquad (5)$$

где h - коэффициент эффективной передачи тепла; L - характеристическая длина объекта; λ - теплопроводность твердого материала.

Для предсказания самовозгорания по стационарной теории используется параметр Франк–Каменецкого, который определяется как: $$\delta = \frac{\rho Q A}{\lambda} \cdot \frac{E L^2}{R T_0^2} \cdot e^{-E/RT_0}.$$ (6)

При условии вычисления критического значения параметра Франк – Камецкого δ_{crit} ,задаваясь условием $\delta \geq \delta_{crit}$ из уравнения (6) можно вычислить значения кинетических параметров. Рассмотрим смесь гомогенных материалов, у которых значения параметра E различны. Для такого скопления материалов рассматривается функция

$$T_0 = T_0(E) \qquad (7)$$

характеризующая зависимость температуры среды от величины энергии активации.

Далее для рассматриваемой смеси гомогенных материалов вычисляется эквивалентный параметр Франк – Каменецкого в следующем виде

$$\delta_{ekv} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \delta_i(\rho, Q, A, \lambda, L, R, E_i, T_{0i})}{n}, \qquad (8)$$

где δ_i - параметр Франк – Каменецкого для i -й составляющей. С учетом выражений (6) и (7) получаем

$$\delta_{ekv} = \frac{1}{E_2 - E_1} \int_{E_1}^{E_2} \frac{d_1 \cdot E}{T_0^2(E)} e^{-\frac{E}{T_0(E) d_2}} dE = \frac{1}{E_2 - E_1} \int_{E_1}^{E_2} M[d_1, d_2, E, T_0, T_0(E)] dE, \qquad (9)$$

где

$$d_1 = \frac{\rho Q A \cdot L^2}{\lambda R}; \; d_2 = R \cdot$$

Далее исследуются экстремальные свойства δ_{ekv}. Требуется вычислить такую функцию $T_0(E)$, при которой δ_{ekv} получил бы экстремальное значение. Из функционального анализа известно, что подобная задача решается с помощью вычисления производной подынтегрального выражения по искомой функции, с учетом условия

$$\frac{dM[d_1, d_2, E, T_0, T_0(E)]}{d T_0(E)} = 0 \cdot \qquad (10)$$

Из предыдущих выражений следует: $$T_0(E) = \frac{E}{2 d_2}. \qquad (11)$$

С учетом выражения (8) и (9) следует формула для вычисления экстремальной величины

$$\delta_{ekv} \; \delta_{ekv.eks} = \frac{4 \cdot \rho Q A L^2 R}{\lambda \cdot e^2 (E_2 - E_1)} \cdot ln\left(\frac{E_2}{E_1}\right). \qquad (12)$$

Далее определяется является ли вычисленное значение $\delta_{ekv.eks}$ максимумом или минимумом. Вторая производная $dM[d_1, d_2, E, T_0, T_0(E)]$ по $T_0(E)$ имеет следующий вид

$$\frac{d^2 M[d_1, d_2, E, T_0, T_0(E)]}{d T_0(E)^2} = 6 - \frac{2E}{d_2 T_0(E)} - \frac{4E}{d_2 T_0(E)} + \frac{E^2}{d_2^2 T_0^2(E)} \cdot \qquad (13)$$

Приравнивая правую сторону уравнений (13) к нулю получают следующее квадратичное уравнение $$T_0^2(E) - \frac{E}{d_2} T(E) + \frac{E^2}{6 d_2^2} = 0 \cdot \qquad (14)$$

Решение уравнения (14) в виде $$T_0(E)_{1,2} = \frac{E}{2 d_2} \pm \frac{E}{12 d_2} \qquad (15)$$

позволяет получить условия максимума функционала (9)

$$T_0(E) < \frac{7E}{12R}, \qquad (16)$$

и

$$T_0(E) < \frac{5E}{12R}. \qquad (17)$$

Очевидно, что условия (11) и (17) несовместимы, а следовательно, условием максимума целевого функционала (9) является неравенство (16).

Вышеизложенная теория самовоспламенения смешанных материалов предусматривает обеспечение различных фракций смешанного состава материалов различной внешней температурой, определяемой формулой (11). При этом критическая величина параметра Франк – Каменецкого для смешанного материала вычисляется как удельное среднее арифметическое отдельных значений этого параметра, определенного для компонентов составного объекта.

Очевидно, что положительный практический результат вышеизложенной теории самовоспламенения сложного по составу материала заключается в том, что устанавливая для каждой компоненты объекта свою внешнюю температуру окружающей среды удается повысить величину δ_{ekv} до максимальной величины, что тем самым может привести к снижению уровня самовоспламенения материала и, стало быть, в целом, его пожароопасности. Что касается практической реализации условий обеспечения различных температур для компонентов объекта, то это условие может быть выполнено разумной дифференцированной установкой узлов вентиляции и/или охлаждения в пределах зоны хранения сложно-составного твердого горючего объекта.