

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРА В ТОННЕЛЕ

При проектировании тоннеля, как и любого другого пожаробезопасного объекта, необходимо оценить риск и возможный ущерб от пожара. В последние годы решение задач пожарной безопасности опирается на методы численного моделирования с помощью расчетных CFD пакетов. Существуют как пакеты общего назначения (Ansys CFX, Fluent и Star-CD) так и пакеты, разработанные специально для моделирования пожаров (FDS, SOFIE). Целью данной работы является моделирование пожара в тоннеле и ответы на вопросы об огнестойкости конструкции.

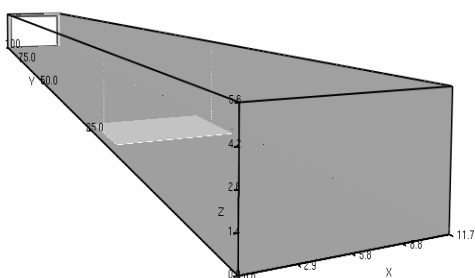


Рис. 1. Расчетная область

В данной работе выполнен численный расчёт развития турбулентного диффузионного факела в тоннеле с вынужденной вентиляцией (рис. 1). На одной из границ тоннеля подается воздух с критической скоростью 2.7 м/с. Материал стенок тоннеля – бетон, толщина их составляет 70 см. В качестве аварийной ситуации рассматривается вариант ДТП с бензовозом с последующей разгерметизацией сливного патрубка цистерны,

разливом бензина и его воспламенением. Максимальная тепловая мощность пожара в стационарном режиме принимается равной 100 МВт. Площадь разлива F рассчитывается согласно формуле $Q = \eta \dot{m} F \Delta h$, где Q - мощность тепловыделения при пожаре, МВт, η - коэффициент, учитывающий потери тепла вследствие химической и механической неполноты горения, для бензина $\eta = 0,855$, \dot{m} - удельная массовая скорость выгорания бензина, $0.049 \text{ кг/м}^2\text{с}$, Δh - низшая массовая теплота сгорания бензина, равная 41900 кДж/кг , F - площадь разлива топлива, м^2 .

В основе математических моделей, описывающих динамику пожара, лежат уравнения Навье-Стокса для многокомпонентного неизоэтермического течения. Важным допущением является существенно дозвуковое приближение, в рамках которого плотность среды не зависит от динамического давления [1]. Для описания турбулентного течения многокомпонентной смеси продуктов сгорания и воздуха использованы уравнения переноса массы (1), концентрации (2), импульса (3) и энергии (4):

$$\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{\rho} \tilde{u}_j}{\partial x_j} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{\rho} \tilde{Y}_\alpha}{\partial t} + \frac{\partial \bar{\rho} \tilde{u}_j \tilde{Y}_\alpha}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu}{Sc} + \frac{\mu_t}{Sc_t} \right) \frac{\partial \tilde{Y}_\alpha}{\partial x_j} + \tilde{R}_\alpha, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \bar{\rho} \tilde{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \bar{\rho} \tilde{u}_j \tilde{u}_i}{\partial x_j} = - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial \tilde{\tau}_{ij}}{\partial x_j} + \bar{\rho} g_i, \quad (3)$$

$$\frac{\partial \bar{\rho} \tilde{h}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{\rho} \tilde{u}_j \tilde{h}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{Pr_t} \right) \frac{\partial \tilde{h}}{\partial x_j} - \frac{\partial \bar{q}_{rj}}{\partial x_j}. \quad (4)$$

Для моделирования турбулентности использовалась модель крупных вихрей (LES), для расчета излучения был использован метод конечных объемов, для расчета спектральных характеристик применялось приближение «серой» среды (т.к. при горении бензина выделяется большое количество сажи, данное приближение справедливо). Турбулентное

горение моделировалось с использованием концепции пассивного скаляра. Расчёты выполнены в программном пакете FDS.

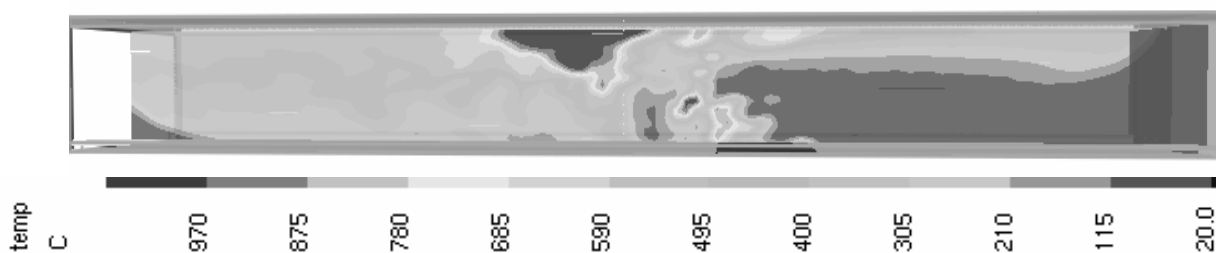


Рис. 2. Результаты расчёта поля средней температуры в срединном сечении

Как видно из рис. 2, максимальная температура при горении бензина составляет порядка 1000°C . Пламя отклоняется потоком воздуха, движущимся со скоростью 2.7 м/с .

При организации защитной изоляции ограждающих конструкций необходимо учитывать возможность хрупкого разрушения. Возможность разрушения бетона оценивается значением критерия хрупкого разрушения F [2]. Если данный критерий больше 4, то возможность разрушения существует. При температурах до 250°C прочность бетона практически не изменяется. Если влажность бетона выше 3.5% , то при огневом воздействии и температуре 250°C и более, возможно хрупкое взрывообразное разрушение бетона.

На рис. 3 показано, что факел при воздействии продольной вентиляции прижимается вниз, вследствие чего греется нижняя поверхность тоннеля. Поверхность бетона нагревается более чем на 250°C , что приведет к разрушению слоев бетона.

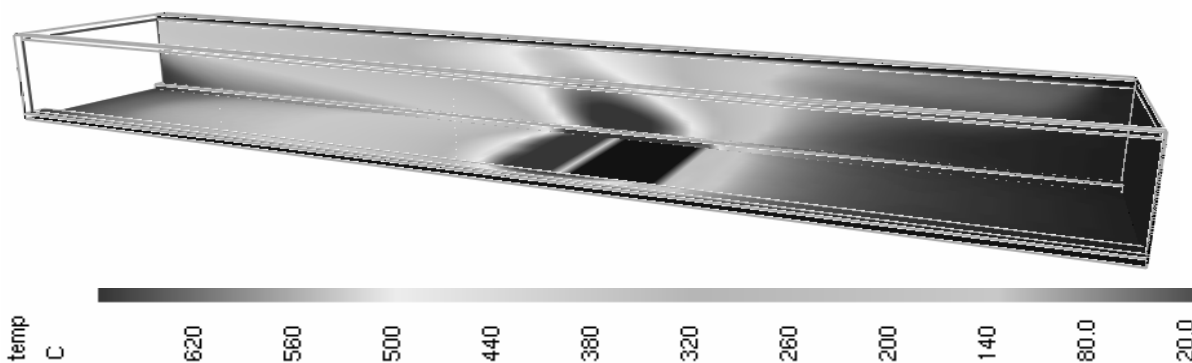


Рис. 3. Поле средней температуры на поверхности ограждающих конструкций после 10 мин с момента зажигания бензина

На основании численных расчётов сделаны следующие выводы.

1. При наличии продольной вентиляции с критической скоростью продукты горения не распространяются против потока.
2. При наличии продольной вентиляции пламя прижимается к полу и греется нижняя поверхность ограждающих конструкций
3. Необходима защита всей поверхности ограждающих конструкций, т.к. существует возможность хрупкого разрушения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Лапин Ю.В., Стрелец М.Х. Внутренние течения газовых смесей. - М.: Наука, 1989. - 368 С.
2. Методические рекомендации по расчету огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций – М.: ГУП «НИИЖБ», 2000 - 92 с.