УДК 624.012

О ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИНЫ ОБУГЛИВАНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ РАСЧЁТНЫМ МЕТОДОМ

В. Г. КУЛИНИЧ, А. С. ПОПКО

Научно-практический центр пожарной безопасности Брестского областного управления МЧС

В настоящее время существует тенденция к применению нетрадиционного метода определения пределов огнестойкости конструкций – аналитический метод. Однако существующие алгоритмы не учитывают ряд позиций, возникающих в процессе пожара. Решение уравнений приводится к использованию стандартных (табличных) величин, к геометрическим параметрам конструкции. Одна из таких величин – это глубина обугливания.

Глубина обугливания (скорость нарастания обугленного слоя) зависит от ряда физических, химических свойств. В различных источниках скорость сгорания указывается в пределах от 0,5 до 0,9 мм/мин.

При температуре 280 – 300 °С начинается интенсивное разложение древесины. При температурах 350 – 450 °С происходит интенсивный пиролиз древесины и выделяется основная масса горючих газов — 40 % от максимально возможного количества. Кинетика химической реакции термического разложения (пиролиза) описана уравнением Аррениуса

$$\omega = \kappa_0 C_a C_в e^{-\frac{e}{rt}}, \quad (1)$$

где ω – скорость химической реакции, моль ($м^3 \cdot с$); C_a, $C_в$ – концентрации горючего и окислителя; e – энергия активизации реакции горения, кДж/(моль·К); $к_0$ – константа скорости химической реакции.

Существует два разных горения газообразных веществ: режим, в котором горючее вещество образует однородную смесь с кислородом или воздухом до начала горения, и режим, в котором горючее и кислород (воздух) первоначально разделены, а горение протекает в области их перемещения. При горении твёрдых горючих веществ (деревянные конструкции) встречается второй режим. В этом случае скорость поступления летучих веществ, которые образуются на поверхности, непосредственно связана и интенсивностью теплообмена между пламенем и горючим. Массовая скорость выгорания m в общем виде может определяться по формуле

$$m = \frac{Q_F + Q_E - Q_L}{L_V}, \quad (2)$$

где m – массовая скорость выгорания, г/($м^2 \cdot с$); Q_F – теплопотери (тепловой поток от поверхности), кВт/$м^2$; Q_E – тепловой поток от лучистого нагревателя, г/($м^2 \cdot с$); Q_L – теплопотери (тепловой поток от поверхности), г/($м^2 \cdot с$); L_V – тепло, необходимое для образования летущих веществ (коэффициент газификации).

Тепловой поток Q_F, в свою очередь, зависит от интенсивности выделения энергии внутри пламени и механизмов теплообмена при горении. Интенсивность выделения энергии при пожаре выражается как зависимость массовой скорости выгорания и теплоты сгорания летучих веществ:

$$Q_c = \chi m A_f \Delta H_c, \quad (3)$$

где Q_c – интенсивность выделения энергии при пожаре, кВт; χ – коэффициент неполного сгорания; A_f – площадь поверхности горючего материала, $м^2$; ΔH_c – теплота сгорания летучих веществ, кДж/г.

Конструкции из древесины при воздействии высоких температур (огня) образуют слой обуглившегося материала, который становится защитным слоем неохваченной структуры конструкции. На поверхности конструкции достигается равномерно распределённая высокая температура, в соответствии с этим преобразуется и характер горения.

При помощи промышленной установки по исследованию горения материалов проведены исследования различных параметров, входящих в формулу (2). В результате чего установлено, что внешнее тепловое воздействие линейно зависит от концентрации кислорода. С помощью математическо-

го преобразования, а также используя данные проведённых испытаний и предположив, что $Q_E=Q_L$, формулу (2) можно записать так:

$$m = m_{ideal}+(Q_F - Q_L)/L_V, \quad (4)$$

где m_{ideal} – максимальный уровень скорости горения, которого может достичь материал, если все прочие тепловые потери сведены к нулю, г/(м^2·с).

Скорость горения R_w не является постоянной величиной, а существенно меняется в зависимости от теплового потока по формуле

$$Rw=2{,}2\cdot10^{-2}\mathrm{I}, \quad (5)$$

где I – интенсивность теплового потока, кВт/м^2.

Как видно из формулы (5), скорость горения прямо пропорциональна тепловому потоку, в свою очередь, тепловой поток (температура) зависит от пожарной нагрузки в помещении (здании), фактора проёмности и т.д.:

$$T_{\max} - T_0 = 224P_k^{0,528}, \quad (6)$$

где T_0 – начальная средняя температура, °С; $P_к$ – значение пожарной нагрузки, МДж/кг;

$$K_{\text{п}} = \frac{A_{\text{п}}\sqrt{H}}{A}, \quad (7)$$

где $K_{\text{п}}$ – коэффициент проёмности; $A_{\text{п}}$ – площадь вертикальных проёмов, м^2; H – средняя высота проёмов, м; A – полная площадь всех горизонтальных и вертикальных ограждающих конструкций помещения, м^2.

Учитывая изложенное, для определения скорости обугливания можно предположить, что конструкция, подверженная огню, представляет собой многослойную панель. Предполагаем, что конструкция представляет собой двухслойную панель: древесный уголь и непиролизованная древесина. Расчёт двухслойной панели (конструкции) определяется на основании теорий теплопроводности.

Рассматривая задачу о теплопроводности плоской пластины (стенки) толщиной L, поверхности которой имеют температуры T_1 и T_2, где $T_1>T_2$, расчёт глубины обугливания можно провести, интегрируя уравнение Фурье.

Для конечного определения скорости обугливания деревянной конструкции при заданном режиме пожара в реальном помещении необходимо провести ряд исследований, касающихся теории горения и образования углистого остатка. При этом не стоит забывать о необходимости отладки алгоритма с использованием данных реальных пожаров, апробации на макетах помещений (зданий).

УДК 539.374

ЛОКАЛЬНЫЕ РЕЗОНАНСНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ТРЕХСЛОЙНЫЙ СТЕРЖЕНЬ СО СЖИМАЕМЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ

Д. В. ЛЕОНЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта

Рассматриваются малые резонансные поперечные колебания несимметричного по толщине упругого трехслойного стержня со сжимаемым заполнителем под действием распределенных и сосредоточенных нагрузок.

Для изотропных несущих слоёв приняты гипотезы Кирхгофа, в жёстком заполнителе справедливы точные соотношения теории упругости с линейной аппроксимацией перемещений его точек от поперечной координаты z. На границах контакта слоев используются условия непрерывности перемещений. Материалы несущих слоёв несжимаемы в поперечном направлении, в заполнителе учитывается обжатие. Деформации малые.

Распределенная поверхностная нагрузка $p(x)$, $q(x)$ приложена к внешней плоскости первого слоя. Искомыми считаем прогибы и продольные перемещения несущих слоев $w_1(x)$, $w_2(x)$, $u_1(x)$, $u_2(x)$.