



FireCat – программный комплекс
для расчета индивидуального пожарного риска

www.pyrosim.ru
+7 (343) 319-12-62

Работа в программном комплексе
FireCat

Библиотека
реакций и поверхностей горения
в PyroSim 2023

Редакция 6

12 мая 2023

© 2023 Карькин Илья Николаевич

Оглавление

1	Введение	3
2	Реакции в газовой фазе	4
2.1	Реакции с простой стехиометрией	4
2.1.1	Вид реакции	4
2.1.2	Преобразование данных.....	4
2.1.3	Описание реакции в интерфейсе.....	5
2.2	Реакции со сложной стехиометрией	7
2.2.1	Вид реакции	7
2.2.2	Преобразование данных.....	8
2.2.3	Описание реакции в интерфейсе.....	9
2.3	Теплота сгорания и коррекция исходных данных.....	13
3	Поверхности горения	15
3.1	Задание линейной скорости распространения пламени	15
3.2	Задание времени нарастания мощности до максимума	19
3.3	Учет наличия АПТ в помещении пожара.....	21
4	Тестовые расчеты для оценки влияния некоторых параметров	22
4.1	Оценка влияния параметра «Молярная масса топлива»	22
4.2	Оценка влияния дискретности сетки на мощность пожара.....	23
4.3	Сравнение преобразований простой и сложной стехиометрии	29
4.4	Влияние состава сажи на продукты горения.....	30
5	Работа с библиотеками.....	32
6	Основные ошибки FDS, связанные с газами и реакциями	33
7	Список литературы.....	35
8	Приложение 1. Преобразование данных для реакций с простой стехиометрией (без хлора)	36
9	Приложение 2. Преобразование данных для реакций со сложной стехиометрией (все вещества)	38
10	Приложение 3. Преобразование данных для поверхностей горения	42

1 Введение

В PyroSim есть различные возможности для моделирования горения – от очень простых до довольно сложных. Самый распространенный вариант: создание источника пожара с предопределенной скоростью тепловыделения.

Для создания такого источника пожара необходимо:

- создать реакцию горения в газовой фазе;
- создать поверхность типа «горелка»;
- создать объект и присвоить ему созданную поверхность.

Свойства пожарной нагрузки в российских источниках приведены в базе данных Кошмарова [1] и базе данных пособия к методике [2]. Однако, формат данных в PyroSim отличается от формата этих источников, поэтому непосредственно ввести эти данные в PyroSim невозможно. Необходимо выполнить преобразование данных из одного формата в другой, чему и посвящен данный документ.

В документе содержится информация для задания реакций и поверхностей горения в PyroSim, описано, как выполняется преобразование данных из российских источников [1, 2], а также приведены таблицы с результатом выполненных преобразований, пригодных для использования в PyroSim (приложения 1-3).

Файл «**библиотека FireCat 2023.fds**» содержит поверхности горения и реакции для всех нагрузок, приведенных в базе данных Кошмарова [1] и базе данных пособия к методике [2].

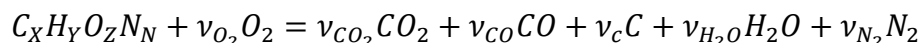
2 Реакции в газовой фазе

Расчетная программа FDS поддерживает два вида реакций в газовой фазе – с простой стехиометрией (топливо может содержать только атомы углерода, водорода, кислорода и азота) и со сложной стехиометрией (топливо может содержать любые атомы).

2.1 Реакции с простой стехиометрией

2.1.1 Вид реакции

Реакция горения для простой стехиометрии имеет следующий вид:



В интерфейсе PyroSim необходимо задать значения количество атомов в составе топлива X, Y, Z, N, а также Y_{CO} и Y_s – долю топлива, идущую на производство, соответственно, угарного газа и сажи.

По справочным данным известны следующие параметры: потребление кислорода L_{O_2} (кг/кг), выделение газов L_{CO_2} (кг/кг), L_{CO} (кг/кг), L_{HCl} (кг/кг), дымообразующая способность D_m (Нп·м²/кг).

Предупреждение: обратите внимание, в реакциях с простой стехиометрией не учитывается наличие хлора.

2.1.2 Преобразование данных

В российских источниках нет данных по выделению азота и его производных, поэтому принимаем, что содержание азота в топливе равно нулю, $N=0$.

Параметр Y_{CO} – доля топлива, идущая на производство угарного газа – аналогичен по смыслу параметру L_{CO} :

$$Y_{CO} = L_{CO}$$

Параметр Y_s получается из дымообразующей способности материала:

$$Y_s = \frac{D_m}{K_m} = L_C, \text{ где } K_m = 8700 \text{ м}^2/\text{кг (коэффициент светового поглощения)} [6]$$

Параметры X, Y, Z получаются следующим образом из уравнения реакции:

Из закона сохранения массы: $L_{H_2O} = 1 + L_{O_2} - L_{CO_2} - L_{CO} - L_C$

$$X = \nu_{CO_2} + \nu_{CO} + \nu_C = \left(\frac{L_{CO_2}}{M_{CO_2}} + \frac{L_{CO}}{M_{CO}} + \frac{L_C}{M_C} \right) M_f = \left(\frac{L_{CO_2}}{M_{CO_2}} + \frac{L_{CO}}{M_{CO}} + \frac{D_m}{K_m \cdot M_C} \right) M_f$$

$$Y = 2\nu_{H_2O} = 2 \frac{(1 + L_{O_2} - L_{CO_2} - L_{CO} - L_C) M_f}{M_{H_2O}}$$

$$\begin{aligned} Z &= 2\nu_{CO_2} + \nu_{H_2O} + \nu_{CO} - 2\nu_{O_2} \\ &= \left(2 \frac{L_{CO_2}}{M_{CO_2}} + \frac{L_{CO}}{M_{CO}} + \frac{(1 + L_{O_2} - L_{CO_2} - L_{CO} - L_C)}{M_{H_2O}} - 2 \frac{L_{O_2}}{M_{O_2}} \right) M_f \end{aligned}$$

В приведенных выражениях остается одно неизвестное – молярная масса топлива, M_f . Поскольку в российских справочниках приведены сложные смеси топлив, то однозначно

определить молярную массу невозможно. Поэтому для расчета используются молярные массы условных, «базовых» веществ, характерные для данного вида топлив.

Для большинства материалов используется один из двух «базовых» веществ:

- дерево ($C_{3.4}H_{6.2}O_{2.5}$, $M_f=87$ г/моль [4]) – для материалов на основе дерева, целлюлозы, тканей;
- стирол ($C_6H_5-CH=CH_2$, $M_f=104$ г/моль) – для материалов с содержанием пластмасс, резины и других искусственных материалов.

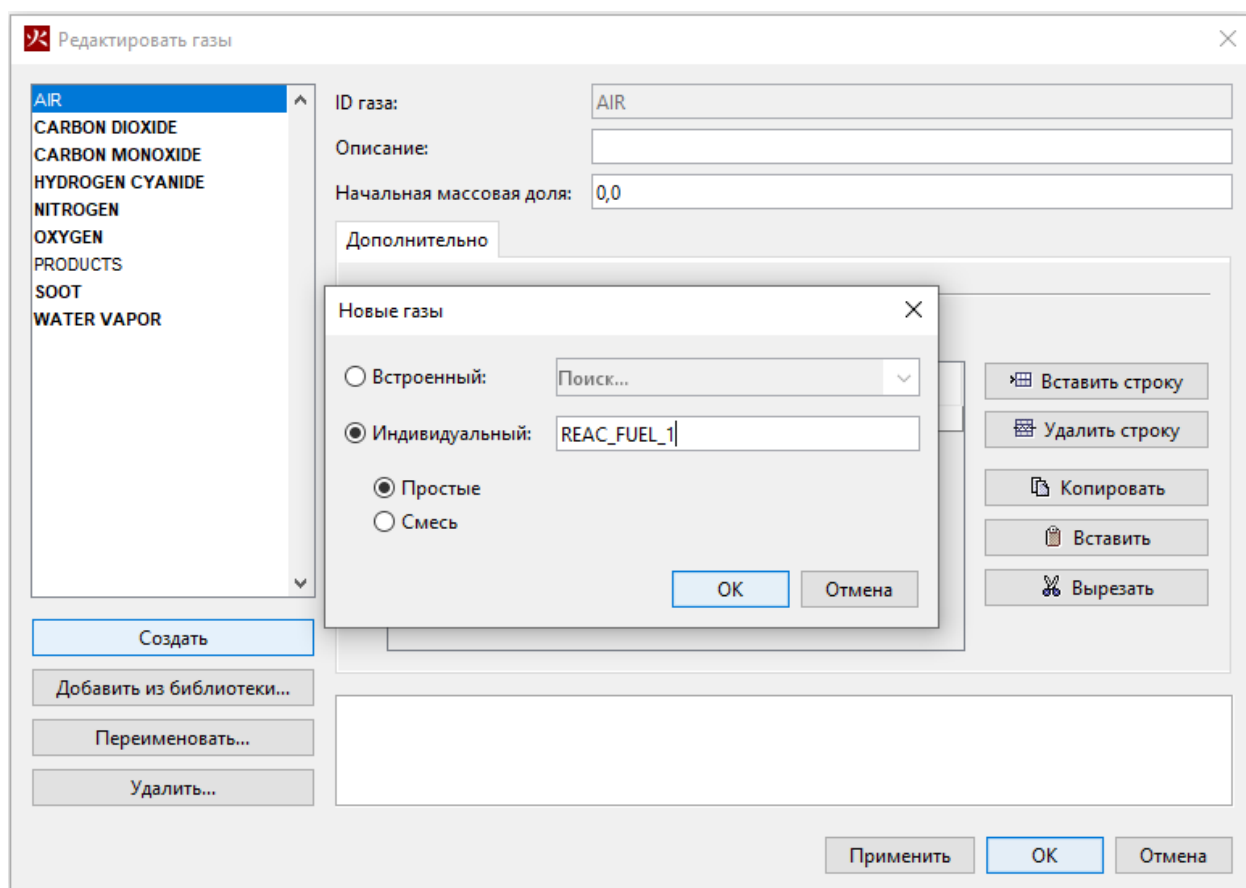
Возможность использования молярной массы условного топлива показана в п.4.1.

Преобразованные данные приведены в приложении 1.

2.1.3 Описание реакции в интерфейсе

Чтобы описать реакцию в интерфейсе программы PyroSim, прежде всего необходимо создать топливный газ.

Для этого в разделе «Газы» нужно нажать кнопку «Создать» – откроется окно для добавления или создания газа. Если в реакции предполагается горение чистого химического вещества, то нужно выбрать «Встроенный» и выбрать из списка нужное химическое вещество. При работе с преобразованными данными нужно выбрать «Индивидуальный» – «Простые» и задать название газа.



Для созданного газа нужно задать химическую формулу (обратите внимание, буквы обязательно латинские):

Редактировать газы

AIR
CARBON DIOXIDE
CARBON MONOXIDE
HYDROGEN CYANIDE
NITROGEN
OXYGEN
PRODUCTS
REAC_FUEL_1
SOOT
WATER VAPOR

ID газа: REAC_FUEL_1

Описание:

Начальная массовая доля: 0,0

Простые Вязкость/Диффузивность Излучение Аэрозоль Жидкость Газ Дополнительно

☐ Молекулярная масса: 29,0 g/mol

☒ Химическая формула: C3H6.6O2.8

Только смешанные компоненты: Авто

Создать

Добавить из библиотеки...

Переименовать...

Удалить...

&SPEC ID='REAC_FUEL_1', FORMULA='C3H6.6O2.8' /

Применить OK Отмена

После этого можно создавать реакцию в разделе «Реакции». Для этого нужно нажать кнопку «Создать», в открывшемся окне выбрать «Простая химия» и созданный топливный газ:

Редактировать реакции

Описание:

Тип реакции: Простая химия

Топливо Подавление горения Побочные продукты Дополнительно

Газы топлива: AIR Редактировать газы...

Создать реакцию

Название реакции: Реакция1

Тип реакции: Простая химия

Газы топлива: AIR

CARBON MONOXIDE
HYDROGEN CYANIDE
NITROGEN
OXYGEN
PRODUCTS
REAC_FUEL_1
SOOT
WATER VAPOR

Создать...

Добавить из библиотеки...

Переименовать...

Удалить...

Применить OK Отмена

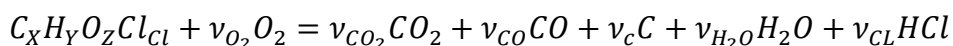
На вкладке «Побочные продукты» нужно задать теплоту сгорания топлива H_f и выделение дополнительных веществ: углекислого газа Y_{CO} и сажи Y_s :

Для удобства создана библиотека реакций – файл «**библиотека FireCat 2023.fds**», откуда можно добавить реакцию, а не создавать ее вручную. Работа с библиотекой описана в разделе 5.

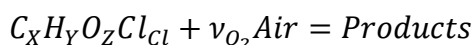
2.2 Реакции со сложной стехиометрией

2.2.1 Вид реакции

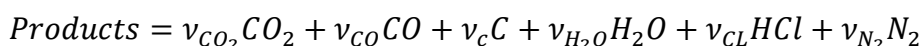
В сложной стехиометрии исходное вещество может состоять из любых атомов. В случае российских данных, когда единственным добавочным атомом является хлор, реакция горения имеет следующий вид:



В другом виде реакцию можно записать в виде:



где $Air = O_2 + 3,76 \cdot N_2$



В PyroSim необходимо задать значение молярной массы топлива M_f (либо формулу топлива), а также стехиометрические коэффициенты $\nu_{O_2}, \nu_{CO_2}, \nu_{CO}, \nu_C, \nu_{H_2O}, \nu_{CL}$.

По справочным данным известны следующие параметры: потребление кислорода Lo_2 (кг/кг), выделение газов L_{CO_2} (кг/кг), L_{CO} (кг/кг), L_{HCl} (кг/кг), дымообразующая способность Dm (Нп·м²/кг)

2.2.2 Преобразование данных

В российских источниках нет данных по выделению азота и его производных, поэтому принимаем, что содержание азота в топливе равно нулю, $N=0$.

Параметр L_c (выделение сажи) можно получить из дымообразующей способности материала:

$$Y_s = \frac{D_m}{K_m} = L_c, \text{ где } K_m = 8700 \text{ м}^2/\text{кг (коэффициент светового поглощения)} [6]$$

Для каждого газа α справедливо следующее ($v_f = 1$):

$$L_a = \frac{v_a M_a}{M_f} \Rightarrow v_a = \frac{L_a M_f}{M_a}$$

Соответственно, для каждого газа:

$$v_{O_2} = \frac{L_{O_2} M_f}{M_{O_2}}$$

$$v_{CO_2} = \frac{L_{CO_2} M_f}{M_{CO_2}}$$

$$v_{CO} = \frac{L_{CO} M_f}{M_{CO}}$$

$$v_C = \frac{L_C M_f}{M_S} = \frac{D_m \cdot M_f}{K_m \cdot M_S} = \frac{D_m \cdot M_f}{K_m \cdot (0.9 \cdot M_C + 0.1 \cdot M_H)}$$

(для преобразования принимается, что сажа имеет формулу $C_{0.9}H_{0.1}$ [6, п.15.1.1])

$$v_{HCl} = \frac{L_{HCl} M_f}{M_{HCl}}$$

Из закона сохранения массы находим $L_{H_2O} = 1 + L_{O_2} - L_{CO_2} - L_{CO} - L_C - L_{HCl}$

$$v_{H_2O} = \frac{(1 + L_{O_2} - L_{CO_2} - L_{CO} - L_C - L_{HCl}) \cdot M_f}{M_{H_2O}}$$

Количество азота остается неизменным до и после реакции и связано с количеством кислорода коэффициентом 3.76:

$$v_{O_2} = 3.76 \cdot v_{O_2}$$

В приведенных выражениях остается одно неизвестное – молярная масса топлива, M_f . Поскольку в российских справочниках приведены сложные смеси топлив, то однозначно определить молярную массу невозможно. Поэтому для расчета используются молярные массы условных, «базовых» веществ, характерные для данного вида топлив.

Для большинства материалов используется два вида «базовых» веществ:

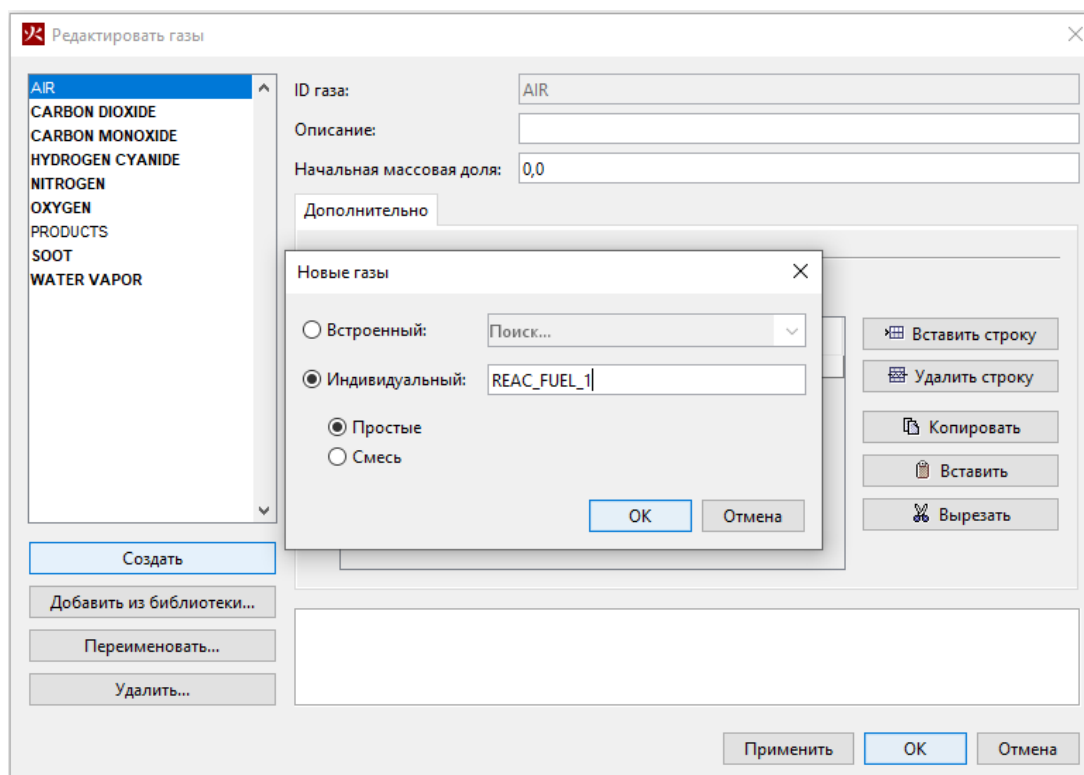
- дерево ($C_{3.4}H_{6.2}O_{2.5}$, $M_f=87$ г/моль [4]) – для материалов на основе дерева, целлюлозы, тканей;
- стирол ($C_6H_5-CH=CH_2$, $M_f=104$ г/моль) – для материалов с содержанием пластмасс, резины и других искусственных материалов.

Возможность использования молярной массы условного топлива показана в п.4.1.

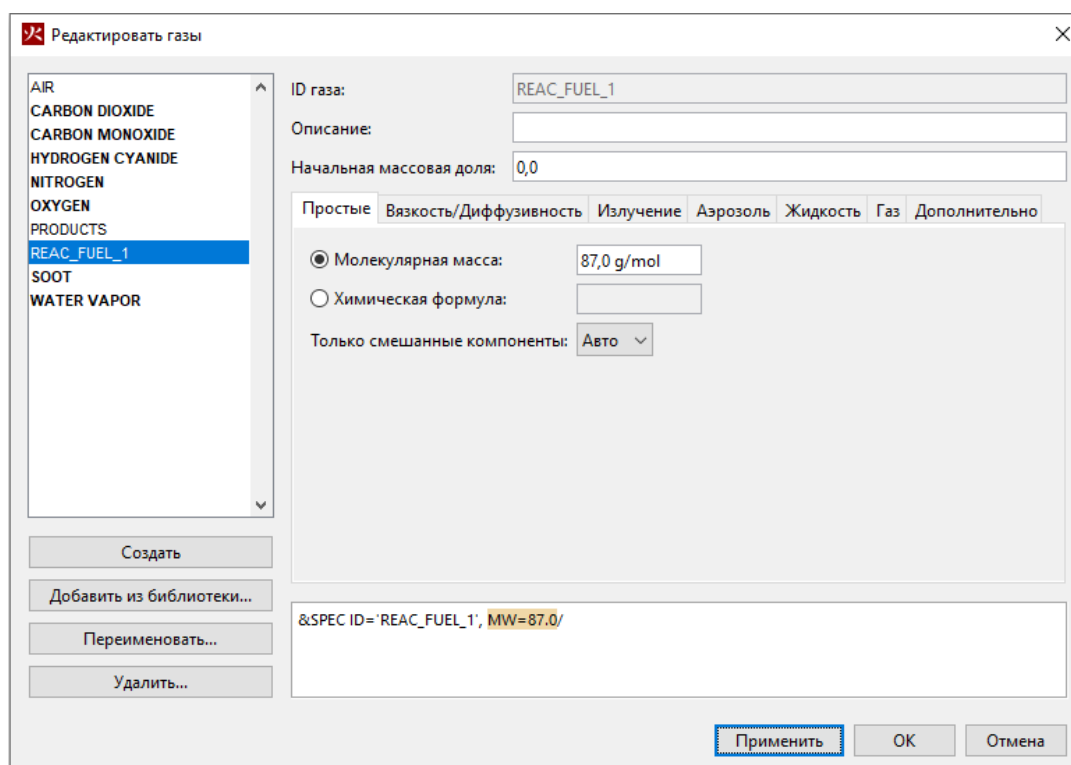
Преобразованные данные приведены в приложении 2.

2.2.3 Описание реакции в интерфейсе

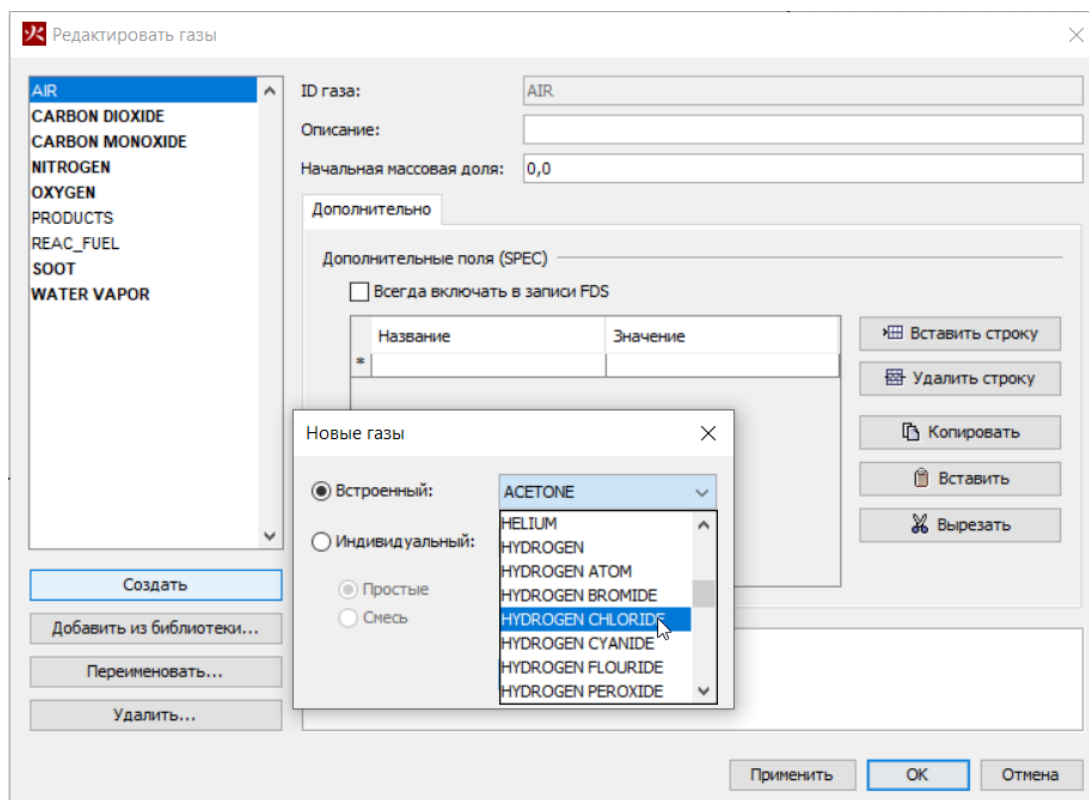
Для создания реакции со сложной стехиометрией в интерфейсе необходимо сначала в разделе «Газы» создать топливный газ. Если в реакции предполагается горение чистого химического вещества, то нужно выбрать «Встроенный» и выбрать из списка нужное химическое вещество. При работе с преобразованными данными нужно выбрать «Индивидуальный» – «Простые» и задать название газа (любое).



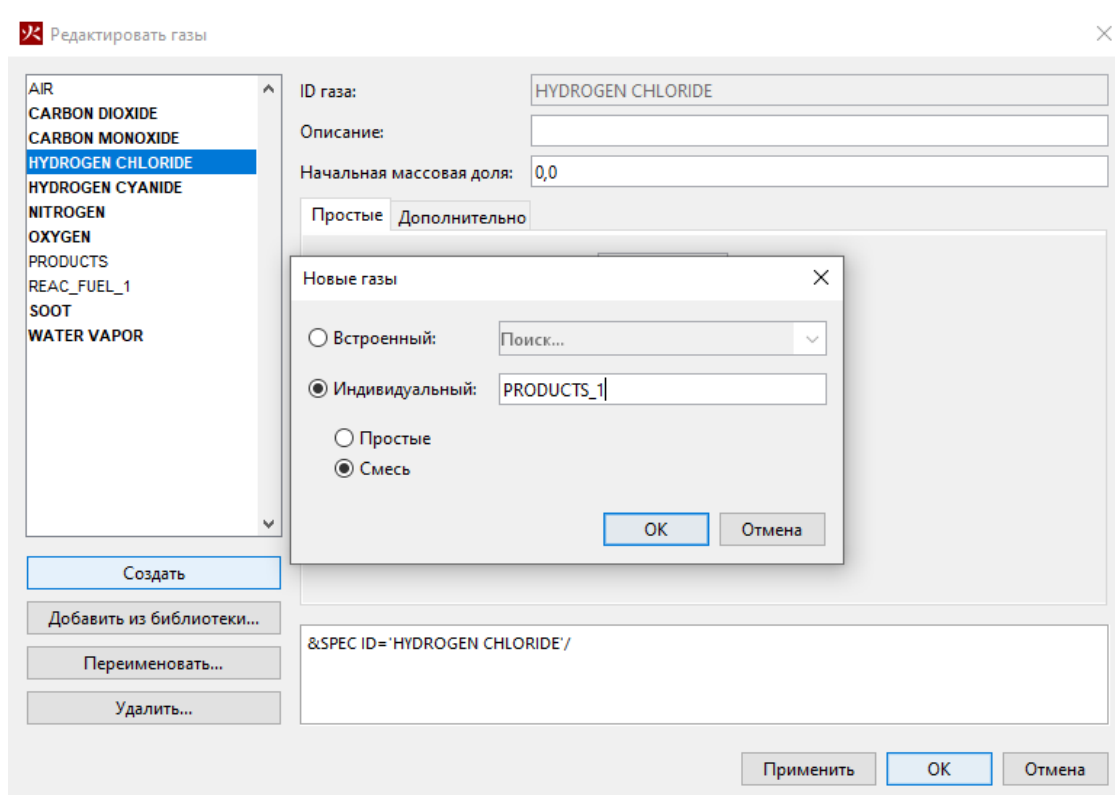
И задать ему молярную массу либо химическую формулу (данные приведены в приложении 2):



Далее нужно создать встроенный газ HYDROGEN CHLORIDE (хлороводород), а также любые другие газы, которые нужно использовать в реакции:

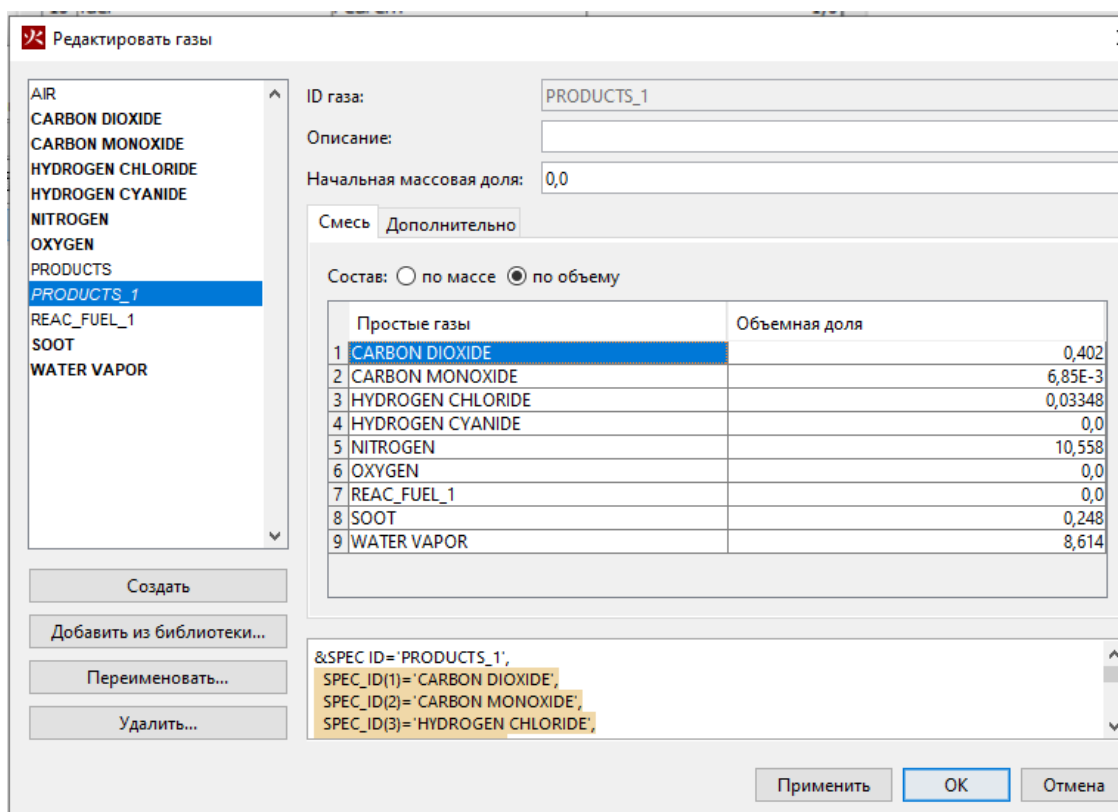


Затем создаем смесь газов PRODUCTS_1, который будет задавать смесь продуктов горения:

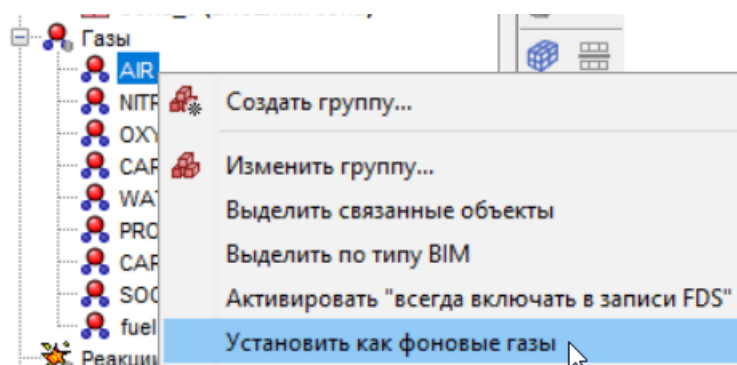


Состав газа задается по объему, данные нужно указать из приложения 2, либо рассчитать согласно п.2.2.2.

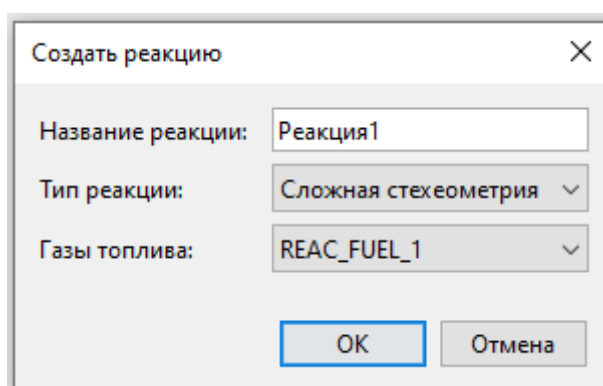
$$Products = v_{CO_2}CO_2 + v_{CO}CO + v_C C + v_{H_2O}H_2O + v_{CL}HCl + v_{N_2}N_2$$



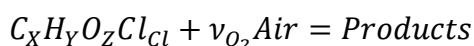
Кроме того, газ AIR (воздух) необходимо установить как фоновый газ через контекстное меню в дереве объектов:



После этого можно переходить к созданию реакции. При создании реакции выберите тип реакции «Сложная стехиометрия» и выберите созданный топливный газ:



На вкладке «Сложная химия» нужно задать теплоту сгорания, а также указать какие вещества вступают в реакцию с какими стехиометрическими коэффициентами.



Воздух и топливных газ являются реагентами, продукты реакции – продуктами.

Стехиометрический коэффициент для топлива и продуктов реакции всегда равен 1, для воздуха – равен коэффициенту для кислорода.

Редактировать реакции

Реакция1

Описание:

Тип реакции: Сложная стехеометрия

Сложная химия Дополнительно

☒ Теплота сгорания: 1,38E+4 kJ/kg

Газы топлива: REAC_FUEL_1

Стехиометрические коэффициенты:

	Газы	Тип	NU
1	AIR	Реагент	2,8
2	CARBON DIOXIDE	Реагент	0,0
3	CARBON MONOXIDE	Реагент	0,0
4	HYDROGEN CHLORIDE	Реагент	0,0
5	HYDROGEN CYANIDE	Реагент	0,0
6	NITROGEN	Реагент	0,0
7	OXYGEN	Реагент	0,0
8	PRODUCTS	Реагент	0,0
9	PRODUCTS_1	Продукт	1,0
10	REAC_FUEL_1	Реагент	1,0
11	SOOT	Реагент	0,0

Создать...

Добавить из библиотеки...

Переименовать...

Удалить...

&SPEC ID='SOOT', LUMPED_COMPONENT_ONLY=.TRUE./
&SPEC ID='WATER VAPOR', LUMPED_COMPONENT_ONLY=.TRUE./
&SPEC ID='CARBON MONOXIDE', LUMPED_COMPONENT_ONLY=.TRUE./
&SPEC ID='CARBON DIOXIDE', LUMPED_COMPONENT_ONLY=.TRUE./

Применить OK Отмена

Для удобства создана библиотека реакций – файл «**библиотека FireCat 2023.fds**», откуда можно добавить реакцию, а не создавать ее вручную. Работа с библиотекой описана в разделе 5.

2.3 Теплота сгорания и коррекция исходных данных

Количество энергии, выделяемое при горении, можно рассчитать, как массу сгоревшего топлива, умноженную на низшую теплоту сгорания топлива:

$$Q = m_f \cdot H_f$$

С другой стороны, это количество энергии можно определить как массу кислорода, затраченного на сгорание данного количества топлива, умноженную на количество энергии, получаемое при сгорании одного килограмма кислорода (EPUMO2 – energy per unit mass of O2):

$$Q = m_{o2} \cdot EPUMO2$$

Поскольку выделяемое при горении количество энергии не зависит от способа расчета, получаем, что теплота сгорания связана с количеством потребляемого при горении кислорода:

$$m_f \cdot H_f = m_{o2} \cdot EPUMO2$$
$$H_f = \frac{m_{o2}}{m_f} \cdot EPUMO2 = L_{o2} \cdot EPUMO2$$

Величина EPUMO2 является постоянной для большинства углеводородных топлив и составляет 13,1±0,7 МДж/кг [5, 6].

Таким образом, отношение H_f к L_{o2} в исходных данных [1, 2] должно быть примерно постоянным значением. Однако, если рассчитать это отношение, оно оказывается весьма различным: например, для нагрузки «Промтовары; текстильные изделия» оно составляет 6,5, а для нагрузки «Индустриальное масло» – 26,9. То есть на единицу потребляемого при горении кислорода приходится то значительно меньше, то существенно больше энергии, чем показывают источники данных. Это несогласование значений H_f и L_{o2} в некоторых топливах приводит к тому, что при моделировании в FDS горение не происходит.

«Исправить» такое топливо можно двумя путями:

- пересчитать H_f , принимая, что верно задано значение L_{o2} (или задать вместо H_f расчет с использованием EPUMO2 – что одно и то же);
- пересчитать значение L_{o2} , принимая, что верно задано значение H_f .

В предыдущей редакции библиотеки мы использовали первый вариант, однако такой расчет приводит к тому, что меняется количество всех продуктов горения (при постоянной HRR изменение H_f ведет к изменению скорости выгорания/выделения топливного газа, что влияет на выделение продуктов горения). Поэтому в новой редакции библиотеки мы используем второй вариант, где изменяется только количество потребляемого кислорода, а продукты горения выделяются в тех же количествах, что и задано исходными данными.

Мы скорректировали только те нагрузки, для которых не возникало горения при обычных исходных данных (в основном, это нагрузки, для которых отношение $H_f/L_{o2}/13,1$ оказывалось меньше 0,7).

Список нагрузок, для которых скорректировано значение Lo_2 :

Нагрузка	H_f , МДж/кг	Lo_2 , кг/кг	Скорректированное $Lo_2 = H_f/13.1$, кг/кг
Верхняя одежда; ворс. ткани (шерсть+нейлон)	23,3	3,698	1,779
Промтовары; текстильные изделия	16,7	2,56	1,275
Сырье для легкой промышл.; хлопок разрыхл.	16,4	2,3	1,252
Сырье для легкой промышл.; лен разрыхл.	15,7	1,83	1,198
Сырье для легкой промышл.; хлопок+капрон (0,75+0,25)	15,7	3,55	1,198
Склад льноволокна	15,7	1,83	1,198
Вешала текстильных изделий	16,72	2,56	1,276
Гардеробы	16,7	2,56	1,275
Спортзалы	16,7	2,56	1,275
Отделка: ковролин	15,4	2,55	1,176
Турбинное масло	41,9	0,282	3,1985

3 Поверхности горения

Чаще всего при горении твердой нагрузки возгорание начинается в какой-либо точке нагрузки и затем радиально распространяется от этой точки, пока вся нагрузка не окажется охваченной пламенем.

Если длина и ширина нагрузки соизмеримы между собой, то происходит круговое распространение пламени.

Скорость тепловыделения при этом описывается следующей формулой:

$$Q = H_f \cdot \psi_{yd} \cdot S(t) = H_f \cdot \psi_{yd} \cdot \pi \cdot v^2 \cdot t^2,$$

где H_f – низшая теплота сгорания, МДж/кг,

ψ_{yd} – удельная массовая скорость выгорания, кг/м²с,

$S(t)$ – площадь горения в текущий момент времени, м²,

v – линейная скорость распространения пламени, м/с.

В этой формуле $HRRPUA = H_f \cdot \psi_{yd}$ – максимальная удельная скорость тепловыделения, которую необходимо задать в поверхности типа «горелка».

Далее есть два варианта, как задать развитие скорости тепловыделения по квадратичному закону от нуля до максимума.

1. Задать линейную скорость распространения пламени.
2. Задать время нарастания от нуля до максимальной скорости тепловыделения.

3.1 Задание линейной скорости распространения пламени



В этом варианте пользователь задает:

- постоянную удельную скорость тепловыделения $HRRPUA$, кВт/м²;
- линейную скорость распространения пламени v , м/с;
- точку начала распространения пламени (координаты).

В свойствах поверхности типа «горелка» необходимо задать постоянную удельную скорость тепловыделения ($HRRPUA$). Параметр «**Функция от времени**» должен быть установлен по умолчанию 1 секунда.

ID поверхности: fire

Описание:

Цвет:  Внешний вид: 

Тип поверхности: Горелка

Тепловыделение: Впрыскивание частиц Дополнительно

Тепловыделение

☒ Удельное тепловыделение (HRRPUA): 500,0 kW/m²

☐ Скорость потери массы: 0,0 kg/(m²·s)

Функция от времени: По умолчанию 1,0 s

Коэффициент затухания: 0,0 m²·s/kg

Если объектом, моделирующим пожарную нагрузку, является **вент.отверстие**, то все параметры могут быть заданы через интерфейс.

В свойствах вентиляционного отверстия в первую очередь нужно указать поверхность на вкладке «Общие»:

Свойства вентиляционного отверстия


Общие Геометрия Свойства распространения пламени Дополнительно

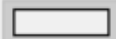
ID: fire

Описание:

Группа: Модель

Активация: <Всегда включен>

Поверхность:  fire

☐ Задать цвет 

☐ Отображать контурами

Начало координат текстуры

☐ Относительно объекта

X: 0,0 m Y: 0,0 m Z: 0,0 m

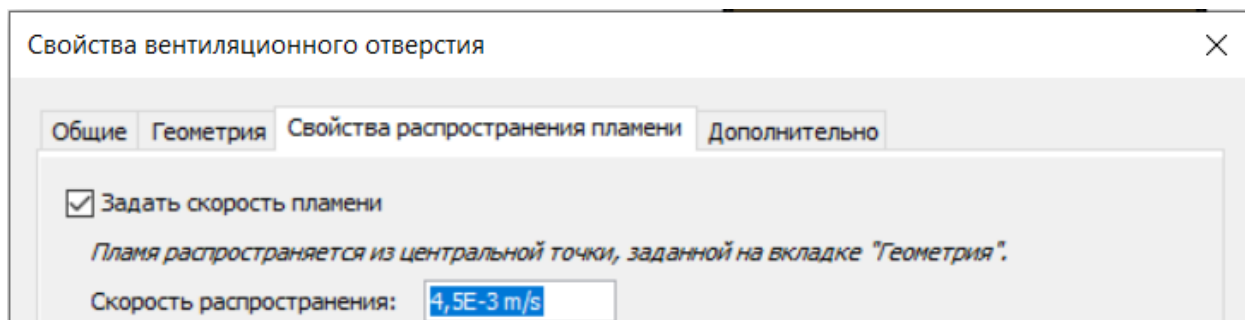
Границы

Минимум X: -3,552714E-1 Минимум Y: -2,220446E-1 Минимум Z: 0,0 m

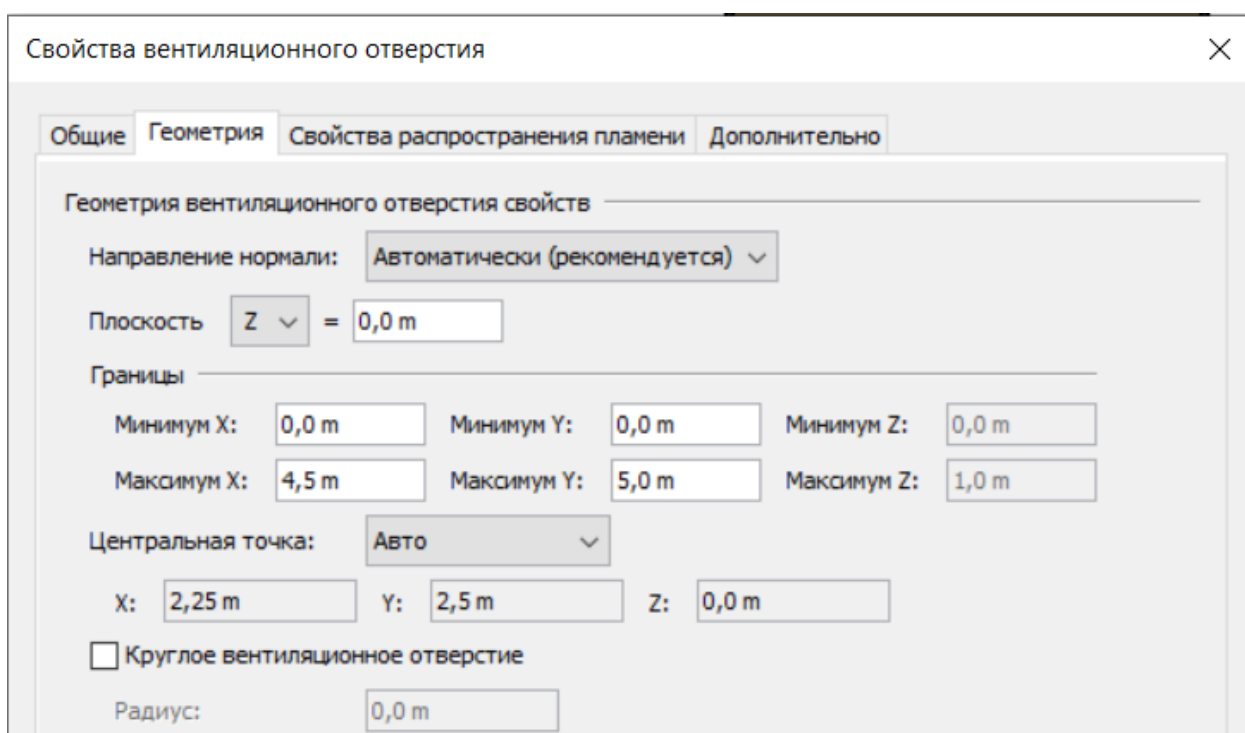
Максимум X: 4,5 m Максимум Y: 5,0 m Максимум Z: 0,0 m

OK Отмена

На вкладке «**Свойства распространения пламени**» необходимо поставить галочку и задать скорость распространения пламени v (вкладка появляется после присвоения поверхности типа «горелка» вент.отверстию):



Координаты начала распространения пламени задаются на вкладке «**Геометрия**», параметр «**Центральная точка**»:



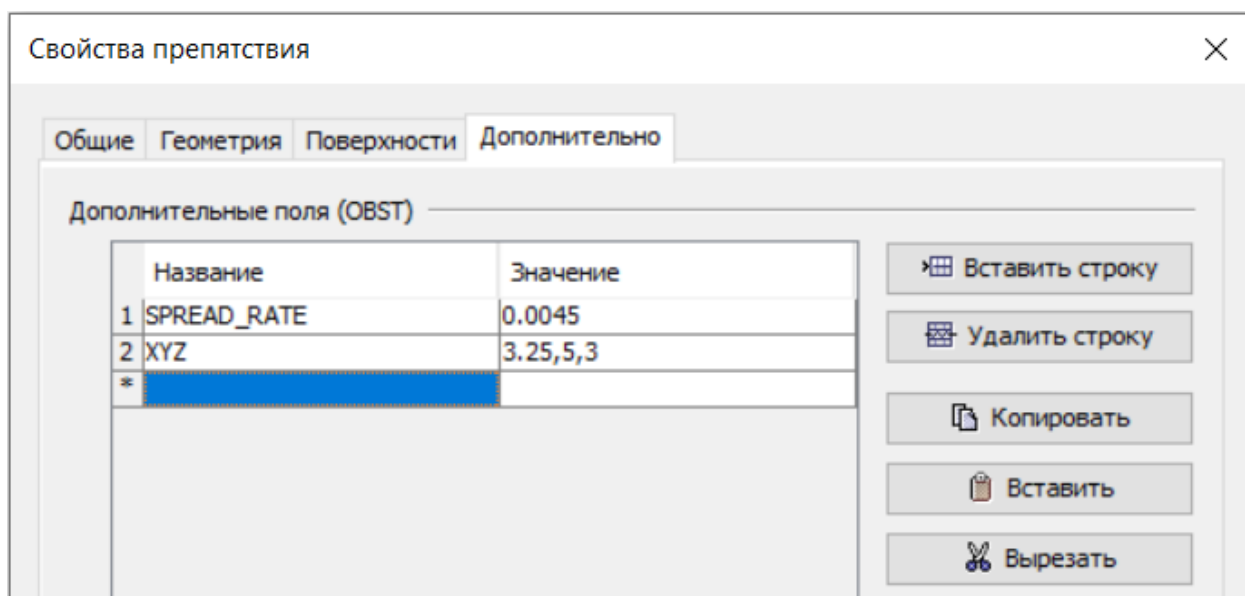
Если выбран вариант «**Авто**», то будут использованы координаты центра вент.отверстия. Чтобы изменить координаты, выберите вариант «**Индивидуальный**».

При расчете пламя появится в заданном месте на вентиляционном отверстии и будет распространяться с заданной скоростью по данному вент.отверстию.

Скорость распространения пламени может быть задана не только для вент.отверстия, но и для препятствия, и даже для всей поверхности в целом.

Чтобы задать параметры для **препятствия**, на вкладке «**Дополнительно**» укажите следующие параметры:

- SPREAD_RATE – скорость распространения пламени
- XYZ – координаты начала распространения пламени.

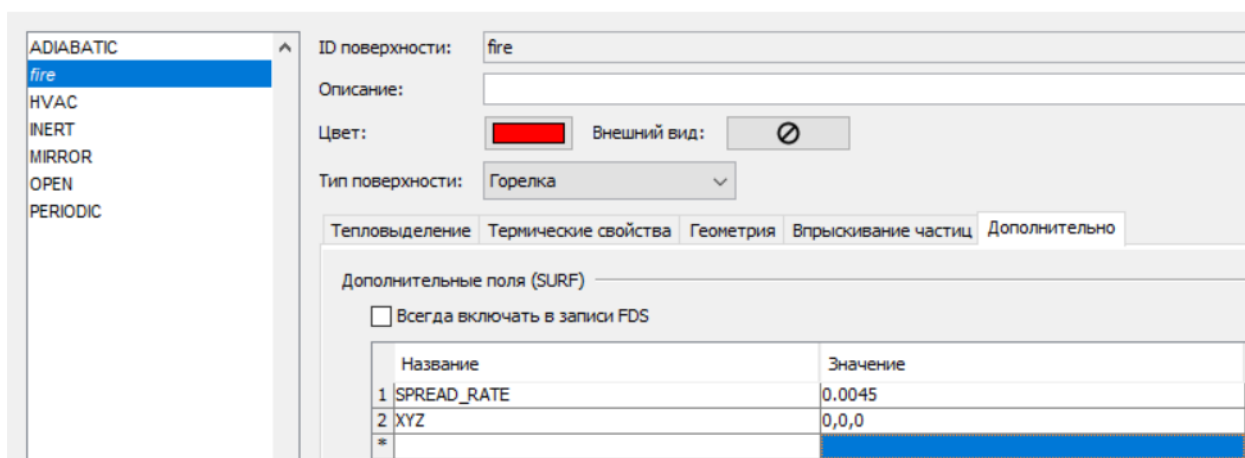


Внимательно проверяйте, что координаты лежат на поверхности препятствия.

В этом случае пламя будет распространяться из заданной точки с заданной скоростью по поверхности данного препятствия.

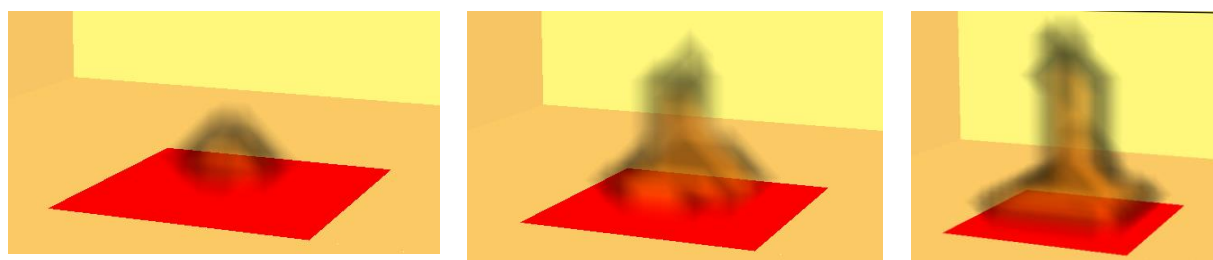
Эти же параметры можно указать в свойствах **поверхности** горения на вкладке «Дополнительно»:

Редактировать поверхности



В этом случае пламя начнет распространяться из заданной точки и будет распространяться **по всем** препятствиям и вент.отверстиям с данной поверхностью.

Визуализация распространения пламени по вент.отверстию приведена ниже:

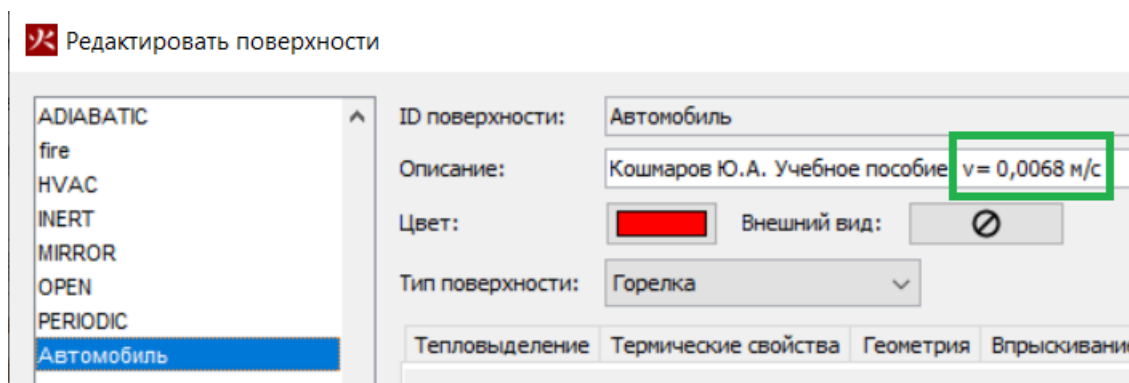


При таком способе задания исходных данных удельная скорость тепловыделения остается постоянной, а изменение тепловыделения достигается за счет изменения площади горения.

Обратите внимание! Поскольку расчет в FDS выполняется на дискретной сетке, возгоранием ячейки пожарной нагрузки считается, когда пламя достигает центра ячейки. Поэтому график мощности изменяется ступенчато, по мере охвата ячеек поверхности горения, в результате первые несколько секунд моделирования горение может не происходить. В разделе 4.2 мы рассматриваем данный процесс и его влияние на результаты расчета.

Данные для удельной скорости тепловыделения и скорости распространения пламени приведены в приложении 3.

В библиотеке для поверхностей задана только удельная скорость тепловыделения. Скорость распространения пламени указана в примечаниях к поверхности горения, ее необходимо задать в свойствах вентиляционного отверстия/препятствия/поверхности самостоятельно.



3.2 Задание времени нарастания мощности до максимума

В этом варианте пользователь задает:

- постоянную удельную скорость тепловыделения $HRRPUA$, кВт/м²;
- функцию от времени – время развития от 0 до максимума по квадратичному закону, с.

В свойствах поверхности типа «горелка» необходимо задать постоянную удельную скорость тепловыделения ($HRRPUA$), а также время развития до максимальной скорости тепловыделения по квадратичному закону (параметр «**Функция от времени**»):

ID поверхности: fire

Описание:

Цвет: Внешний вид:

Тип поверхности: Горелка

Тепловыделение Впрыскивание частиц Дополнительно

Тепловыделение

☒ Удельное тепловыделение (HRRPUA): 500,0 kW/m²

☐ Скорость потери массы: 0,0 kg/(m²·s)

Функция от времени: t² 60

Коэффициент затухания: 0,0 m²·s/kg

При этом время развития до максимальной скорости тепловыделения определяется из площади горения и скорости распространения пламени следующим образом:

$$S_{max} = \pi \cdot v^2 \cdot t^2 \Rightarrow t = \sqrt{\frac{S_{max}}{\pi \cdot v^2}}$$

Обратите внимание, что данная формула справедлива для приближенной к квадрату поверхности горения. В случае вытянутой нагрузки формула будет давать погрешность.

В свойствах вентиляционного отверстия или препятствия необходимо задать координаты (они определяют площадь нагрузки):

Препятствие

Свойства препятствия

Общие Геометрия Поверхности

Граница свойств

Минимум X: -2 Минимум Y: 52 Минимум Z: 0

Максимум X: 6 Максимум Y: 60 Максимум Z: 1

Вентиляционное отверстие

Свойства вентиляционного отверстия

Общие Геометрия

Геометрия вентиляционного отверстия свойств

Направление нормали: Автоматически (рекомендуется)

Плоскость Z = 0,0 m

Границы

Минимум X: 1 Минимум Y: 0,0 m Минимум Z: 0,0 m

Максимум X: 5 Максимум Y: 5 Максимум Z: 1,0 m

и поверхность горения:

Препятствие

Свойства препятствия

Общие Геометрия Поверхности

☐ Единичный ☒ Несколько

Лицевая сторона Поверхность

Минимум X INERT

Максимум X INERT

Минимум Y INERT

Максимум Y INERT

Минимум Z INERT

Максимум Z fire

Вентиляционное отверстие

Свойства вентиляционного отверстия

Общие Геометрия

Описание: Вентиляционное отверстие02

Группа: Модель

Активация: <Всегда включен>

Поверхность: fire

☐ Задать цвет

☐ Отображать контуры

(для препятствия можно задать единую поверхность для всех граней, либо отдельную поверхность для каждой грани)

В этом варианте горение происходит по всей площади нагрузки сразу, при этом сначала удельная скорость тепловыделения мала, а затем растет, пока не достигнет максимальной.

Площадь горения всегда одинакова, а полная скорость тепловыделения зависит от удельной мощности в текущий момент времени:

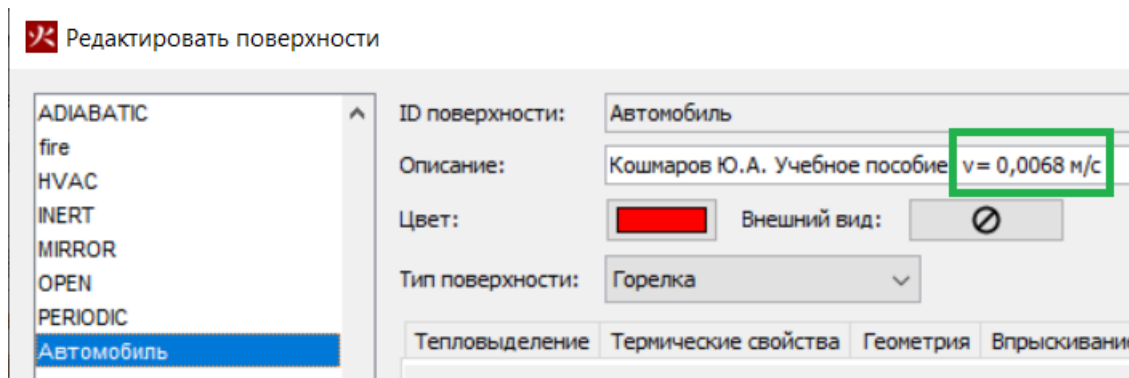


Обратите внимание, что при большой площади нагрузки данная модель не очень реалистична. Данный способ задания горения больше подходит для небольших объектов, моделирующих локальную горючую нагрузку.

Данные для удельной скорости тепловыделения и скорости распространения пламени приведены в приложении 3.

В библиотеке для поверхностей задана только удельная скорость тепловыделения. Время развития до максимальной скорости необходимо рассчитать и задать самостоятельно, в зависимости от площади объекта по приведенной выше формуле, зная площадь горения и скорость распространения пламени.

Скорость распространения пламени указана в примечаниях к поверхности горения:



3.3 Учет наличия АПТ в помещении пожара

Согласно методике: «при наличии в помещении очага пожара установки АПТ, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности, при проведении расчетов значение скорости выгорания принимается уменьшенным в 2 раза». Поскольку скорость выгорания в PyroSim учитывается через параметр «**Удельное тепловыделение**» (HRRPUA) в свойствах поверхности, то для уменьшения скорости выгорания в два раза необходимо уменьшить «**удельное тепловыделение**» для поверхности в два раза.

В библиотеке указаны параметры для поверхностей горения с АПТ и без АПТ.

4 Тестовые расчеты для оценки влияния некоторых параметров

4.1 Оценка влияния параметра «Молярная масса топлива»

В разделе 2 при расчете параметров реакций мы использовали параметр «Молярная масса топлива» M_f , для которого принимали условное значение. Необходимо определить, возможно ли принимать такое значение, и какая погрешность при этом возникает.

Для это выполним серию расчетов, с одними и теми же исходными данными для нагрузки, но с разной молярной массой, использованной при преобразовании данных. Определим количество выделенных продуктов горения в каждом расчете. Отдельно расчеты будут выполнены для реакции без хлора, отдельно – для реакции с хлором.

Модель представляет собой помещение размерами 5*5*2,75 м. Нагрузкой является вент.отверстие 1*1 м, горение возникает сразу по всей поверхности и длится 20 секунд. Длительность расчета – 40 секунд.

Результатами расчета являются следующие величины: массовая скорость выгорания, количество выделившихся газовых продуктов: угарный газ, углекислый газ, сажа, хлороводород (в случае реакций с хлором), масса потребленного кислорода.

Базовым в расчетах является значение молярной массы топлива 87 кг/кмоль, рассмотрим также значения на 50% больше и меньше: 43,5 и 130,5 кг/кмоль.

Для реакции без хлора выберем нагрузку «Здание I ст. огнест.; мебель+ткани (0.75+0,25)» со следующими параметрами:

Hf, МДж/кг	V, м/с	ψ , кг/м ² /с	Dm, Нп*кгм ²	Lo ₂ , кг/кг	Lco ₂ , кг/кг	Lco, кг/кг	Lhcl, кг/кг
14,9	0,0125	0,0162	58,5	1,437	1,32	0,0193	0

По формулам, описанным в разделе 2.1.2, они были преобразованы в следующие данные FDS:

Mf	HRR, кВт/м ²	X	Y	Z	Cl	Ys	Yco
87	241	2,72	10,55	2,74	-	0,007	0,019
43,5	241	1,36	5,27	1,37	-	0,007	0,019
130,5	241	4,08	15,82	4,11	-	0,007	0,019

Результаты расчета:

	Mf=130	Mf=87	Mf=43	Отношение результатов Mf=130 к Mf=87, %	Отношение результатов Mf=43 к Mf=87, %
ψ , кг/с	0,016174	0,016174	0,016174	0	0
SOOT, кг	0,002199	0,002197	0,002192	0,1	-0,2
CO ₂ , кг	0,450559	0,453843	0,44902	-0,7	-1,1
CO, кг	0,005968	0,005964	0,005949	0,1	-0,2

O2, кг	0,462638	0,463799	0,461408	-0,3	-0,5
--------	----------	----------	----------	------	------

Видно, что при изменении молярной массы топлива на 50% в сторону уменьшения или увеличения, результат по выделению продуктов горения и потребления кислорода отличается в пределах 1,1%.

Для реакций без хлора выбрана реакция «Здания I-II ст. огнест.; мебель+бытовые изделия» со следующими параметрами:

Hf, МДж/кг	V, м/с	Ψ, кг/м2/с	Dm, Нп*кгм2	Lo2, кг/кг	Lco2, кг/кг	Lco, кг/кг	Lhcl, кг/кг
13,8	0,0108	0,0145	270	1,03	0,203	0,0022	0,014

По формулам, описанным в разделе 2.2.2, они были преобразованы в следующие данные FDS:

Mf	vo2	vco2	vco	vc	vhcl	vh2o	vN2
87	2,8004	0,4013	0,0068	0,2475	0,0334	8,5949	10,53489
43,5	1,4002	0,2006	0,0034	0,1237	0,0167	4,2974	5,267445
130,5	4,2006	0,6019	0,0102	0,3712	0,0501	12,8923	15,80234

Результаты расчета:

	Mf=130	Mf=87	Mf=43	Отношение результатов Mf=130 к Mf=87, %	Отношение результатов Mf=43 к Mf=87, %
Ψ, кг/с	0,014493	0,014493	0,014493	0,00	0,00
SOOT, кг	0,008715	0,008723	0,008714	-0,09	-0,10
CO2, кг	0,056999	0,05705	0,057003	-0,09	-0,08
CO, кг	0,000615	0,000615	0,000615	0,00	0,00
O2, кг	0,289238	0,289472	0,289293	-0,08	-0,06
HCL, кг	0,003931	0,003934	0,003932	-0,08	-0,05

Видно, что при изменении молярной массы топлива на 50% результаты совпадают с точностью до 0,1%.

Расчеты показали, что изменение молярной массы топлива для преобразования данных на 50% приводят к незначительному изменению результатов расчета (до 1%), поскольку соотношение химических элементов остается неизменным при любой выбранной молярной массе. Таким образом, ошибка в выборе молярной массы практически не скажется на результатах расчетов, и можно использовать условное выбранное значение.

4.2 Оценка влияния дискретности сетки на мощность пожара

В разделе 3.1 описано задание изменение скорости тепловыделения с помощью задания линейной скорости распространения пламени.

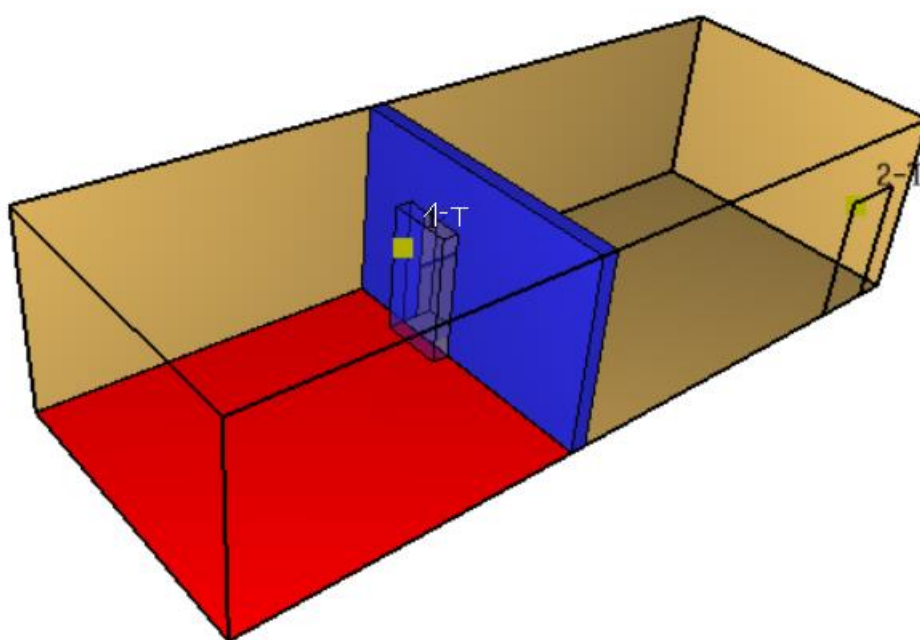
Поскольку расчет в FDS выполняется на дискретной сетке, возгоранием ячейки пожарной нагрузки считается, когда пламя достигает центра ячейки. Поэтому график мощности

изменяется ступенчато, по мере охвата ячеек с горючей нагрузкой, и первые несколько секунд моделирования горение может не происходить. В связи с этим у пользователей иногда возникает вопрос, не нужно ли корректировать время начала эвакуации, чтобы компенсировать это отсутствие горения в начале моделирования.

Для тестирования мы выбрали одну из самых маленьких скоростей распространения пламени среди всех нагрузок в базе данных Ю.А. Кошмарова и пособия к методике: 0,0045 м/с в нагрузке «Административные помещения, учебные классы школ, ВУЗов, кабинеты поликлиник».

Модель состоит из двух помещений. Пожарная нагрузка задана вент.отверстием, занимающим весь пол помещения пожара. В каждом помещении располагается набор датчиков для измерения времени блокирования.

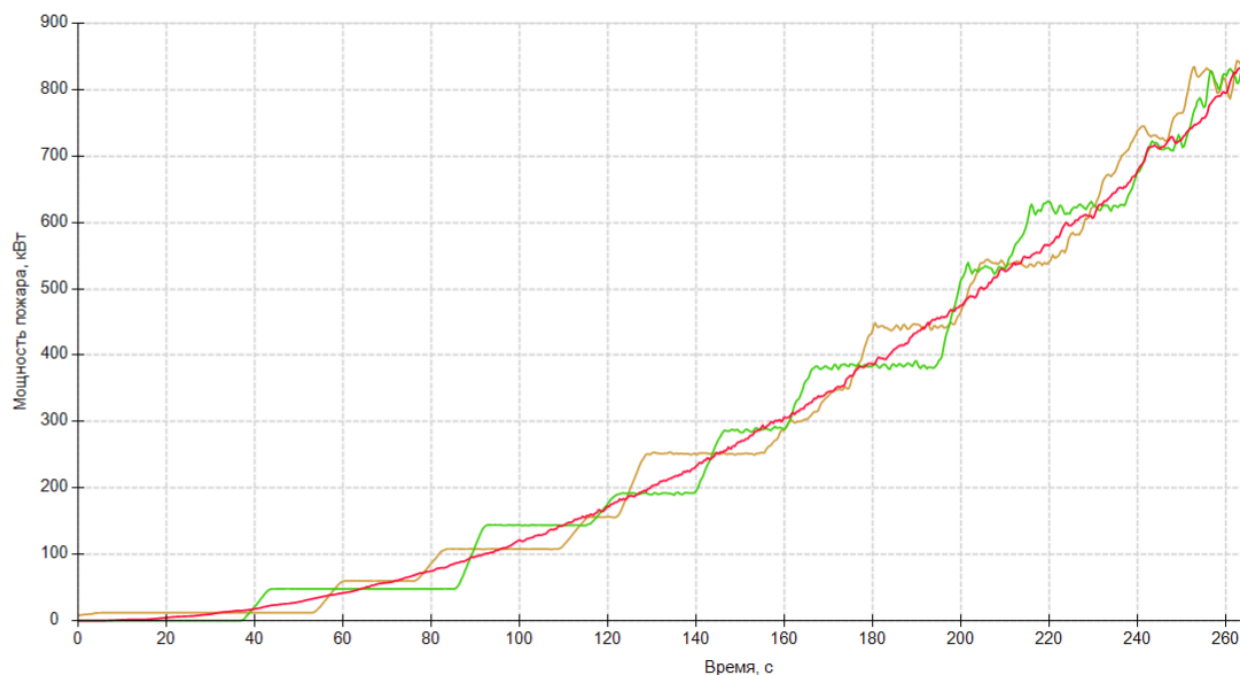
Размер сетки – 0,25 м.



Было выполнено 3 расчета:

- «Базовый» расчет, с которым выполняется сравнение. Размер ячейки сетки в помещении пожара 0,05*0,05*0,125 м. Это обеспечивает практически гладкую кривую мощности пожара.
- Вариант 1. Горение возникает в узле ячейки сетки, задана скорость распространения пламени 0,0022 м/с.
- Вариант 2. Горение возникает в центре ячейки сетки, задана скорость распространения пламени 0,0022 м/с.

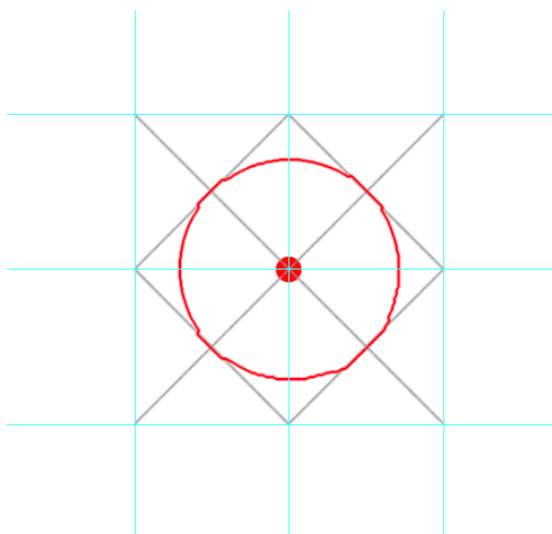
Графики мощности во всех трех расчетах:



- Красный график – базовый расчет. Мощность нарастает практически по квадратичному закону, дискретность графика не заметна.
- Зеленый график – вариант 1, горение начинается в узле ячейки сетки. На то, чтобы загорелись 4 соседние ячейки, требуется время $t = \frac{l}{v} = \frac{0,25}{2} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{1}{v} = \frac{0,25}{2} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{1}{v} = 39 \text{ с}$

До этого момента горения не наблюдается, после этого момента гореть будут сразу 4 ячейки сетки.

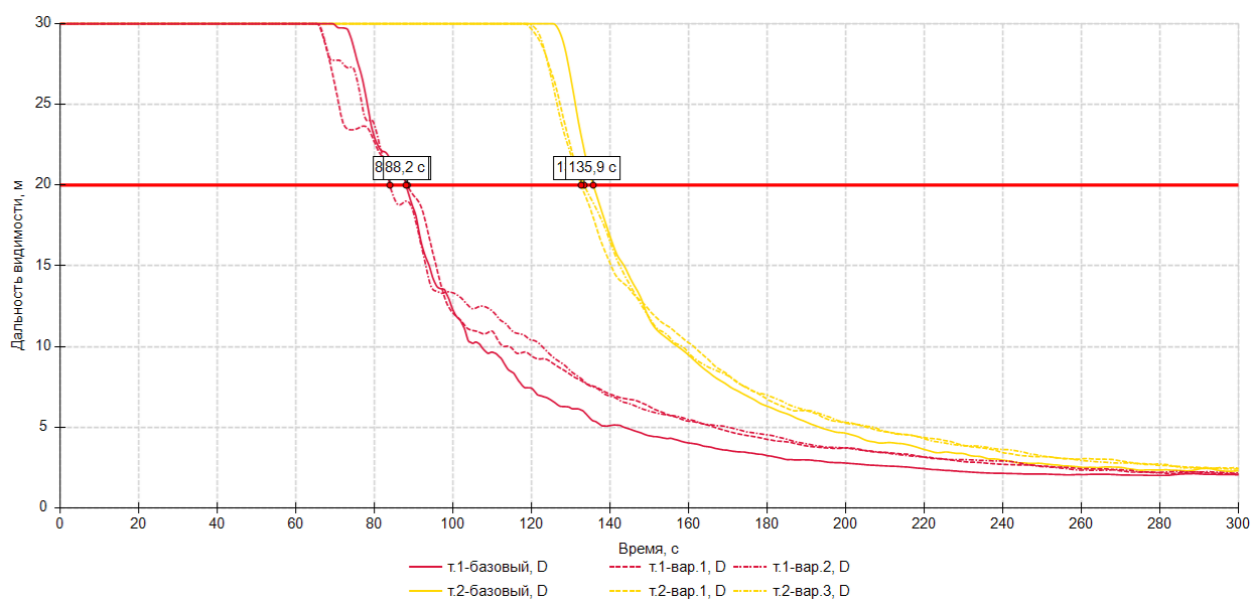
На графике видно, что в начале расчета мощность оказывается меньше мощности квадратичного расчета, затем на некоторое время превышает его, затем снова оказывается меньше. Чем больше ячеек охвачено пламенем, тем более гладким и приближенным к квадратичному становится график.



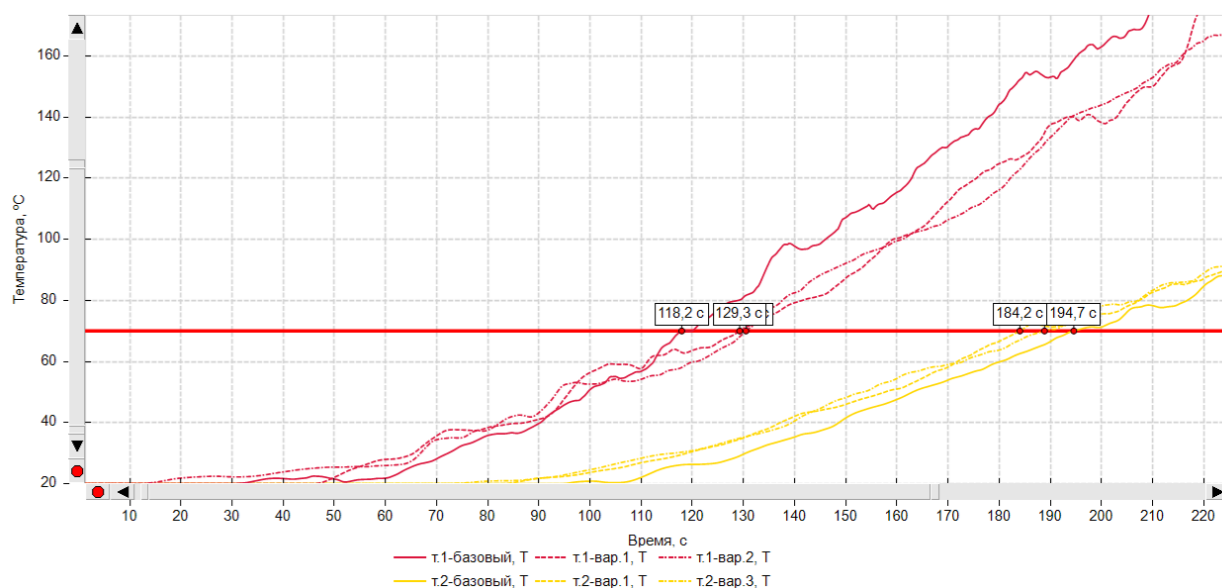
- Коричневый график – вариант 2, горение начинается в центре ячейки сетки. Первая ячейка начинает гореть сразу, соседние ячейки начинают гореть, когда пламя доходит до их центра. По графику видно, что в начале расчета мощность оказывается больше мощности квадратичного расчета, затем квадратичный расчет обгоняет, и так далее. Картина в целом та же, что и во втором варианте.

Результаты расчета (сплошная линия – базовый, пунктирная – вариант 1, штрих-пунктирная – вариант 2)

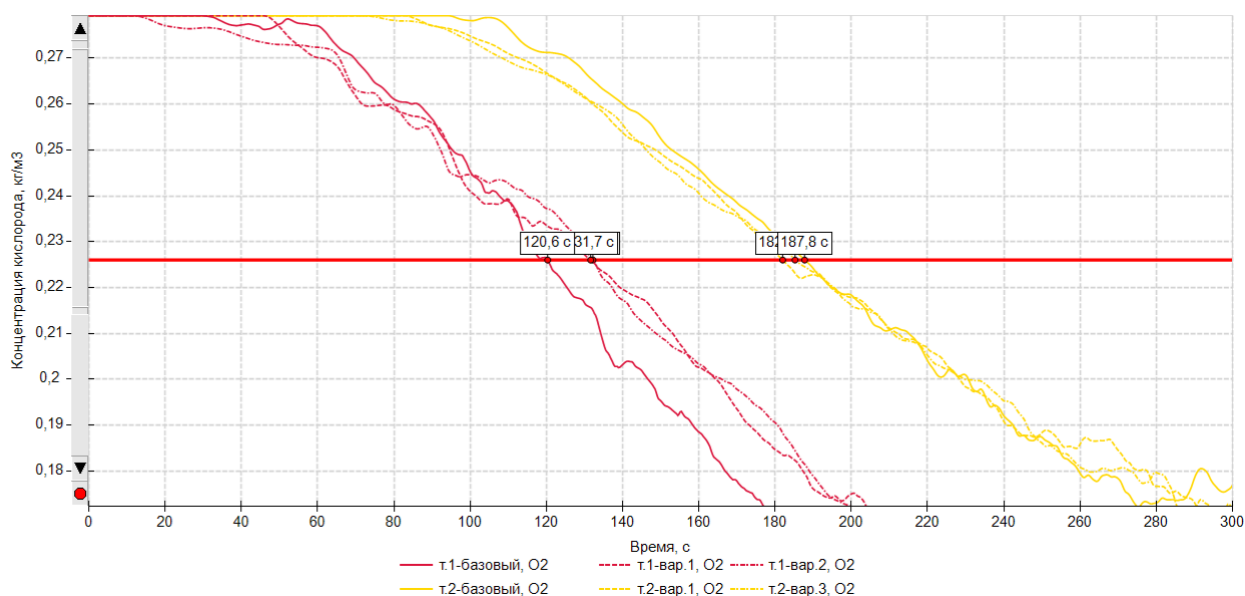
Дальность видимости:



Температура:



Концентрация кислорода:



Время блокирования по дальности видимости получается следующим:

	Точка 1 в помещении пожара	Точка 2 за пределами помещения пожара
Базовый вариант (мелкая сетка)	88,20	135,90
Вариант 1, возгорание в узле ячейки	88,56	132,91
Вариант 2, возгорание в центре ячейки	84,04	133,50

Обратите внимание, что в качестве предельного значения по видимости мы принимаем значение 20 метров, «с запасом», хотя реальное значение будет равно максимальному размеру помещения, т.е. 5 метров для помещения пожара и 7 метров для смежного помещения.

Видно, что по дальности видимости блокирование во всех трех вариантах наступает практически одновременно, с разницей в пределах 5 секунд.

Время блокирования по концентрации кислорода:

	Точка 1 в помещении пожара	Точка 2 за пределами помещения пожара
Базовый вариант (мелкая сетка)	120,61	187,80
Вариант 1, возгорание в узле ячейки	131,74	182,10
Вариант 2, возгорание в центре ячейки	132,33	185,41

По концентрации кислорода и остальным опасным факторам в помещении пожара базовый вариант блокируется раньше, тестовые позже. В смежном помещении блокирование наступает примерно в одно время. В целом различия между базовым и тестовыми вариантами составляет 3-10% (5-12 секунд).

Таким образом, время блокирования в разных расчетах может оказаться как меньше, так и больше базового, разница составляет 5-15 секунд в помещении пожара (при времени блокирования 85-90 секунд) и 3-5 секунд в смежном помещении (при времени блокирования 120-180 секунд).

Учитывая, что время начала эвакуации из помещения пожара подобного размера составляет 5-7 секунд и занимает порядка 10-15 секунд, такая разница во времени блокирования не повлияет на оценку безопасности эвакуации.

Необходимо рассмотреть еще один вопрос: что, если будет выбрана более крупная ячейка сетки, например, 0,5 метра? Или скорость распространения пламени окажется еще меньше 0,0045 м/с? В таком случае время отсутствия горения может уже получиться значительным, сравнимым с временем блокирования, и этим уже нельзя пренебречь.

Разумеется, при увеличении размера ячейки сетки дискретность графиков увеличивается. Поэтому пользователь должен внимательно выбирать размер ячейки сетки, особенно в таких критически важных областях, как область возле источника пожара. Если скорость распространения пламени мала, это повод задуматься об уменьшении ячейки сетки.

Подведем итоги. Мы рассмотрели скорость распространения пламени 0,0045 м/с, характерную для большинства нагрузок из пособия к методике. Было выполнено сравнение тестовых расчетов на стандартной сетке 0,25 м с базовым расчетом на мелкой сетке, дающим гладкий график мощности.

Учитывая, что:

- в дискретном графике мощность горения оказывается то меньше, то больше гладкого графика базового расчета,
- несмотря на отсутствие горения в начале расчета, время блокирования получается примерно таким же, как в базовом расчете, с различием в несколько секунд,
- время блокирования при подобном размере помещения и подобной скорости распространения пламени существенно превышает время эвакуации людей из помещения,

мы не считаем необходимым корректировать время начала эвакуации.

При необходимости можно скорректировать модель следующим образом:

- Установить точку начала распространения пламени не в узле сетки, а центре ячейки сетки. Горение начнется сразу же, хотя вид графика по-прежнему останется дискретным.
- Уменьшить размер ячейки сетки. При маленькой скорости распространения пламени можно уменьшить размер ячейки сетки возле очага пожара, чтобы уменьшить дискретность графика.

4.3 Сравнение преобразований простой и сложной стехиометрии

Для проверки корректности преобразований, приведенных в разделах 2.1.2 и 2.2.2, выполним преобразование одной и той же нагрузки в простую и сложную стехиометрию, и сравним результаты расчета между собой и с исходными данными.

Модель представляет собой помещение размерами 5*5*2,75 м. Нагрузкой является вент.отверстие 1*1 м, горение возникает сразу по всей поверхности и длится 20 секунд. Длительность расчета – 40 секунд.

Результатами расчета являются следующие величины: массовая скорость выгорания, количество выделившихся газовых продуктов: угарный газ, углекислый газ, сажа, хлороводород (в случае реакций с хлором), масса потребленного кислорода.

Для сравнения выбрано две нагрузки: «Здание I ст. огнест.; мебель+ткани (0.75+0,25)» и «Резинотехн. изделия; резина, изделия из нее».

Исходные параметры нагрузки «Здание I ст. огнест.; мебель+ткани (0.75+0,25)»:

Hf, МДж/кг	V, м/с	Ψ, кг/м2/с	Dm, Нп*кгм2	Lo2, кг/кг	Lco2, кг/кг	Lco, кг/кг	Lhcl, кг/кг
14,9	0,0125	0,0162	58,5	1,437	1,32	0,0193	0

По формулам, описанным в разделе 2.1.2, они были преобразованы в следующие данные FDS:

HRR, кВт/м2	Hf, кДж/кг	X	Y	Z	Cl	Ys	Yco
241	14900	2,72	10,55	2,74	-	0,007	0,019

По формулам, описанным в разделе 2.2.2, они были преобразованы в следующие данные FDS:

HRR, кВт/м2	Hf, кДж/кг	vo2	vco2	vco	vc	vhcl	vh2o	vN2
241	14900	3,9123	2,6130	0,0600	0,0537	0,0000	5,2758	14,7177

Результаты расчета:

	Исходные	Простая стехиометрия	Сложная стехиометрия	Простая к исходным, %	Сложная к исходным, %	Сложная к простой, %
Ψ, кг/с	0,0162	0,016174497	0,016174497	-0,2	-0,2	0,0
SOOT, кг	0,0021786	0,002192797	0,002107495	0,7	-3,3	-3,9
CO2, кг	0,42768	0,48435783	0,41365328	13,3	-3,3	-14,6
CO, кг	0,0062532	0,005951878	0,006045282	-4,8	-3,3	1,6
O2, кг	0,465588	0,45294	0,450285	-2,7	-3,3	-0,6

Исходные параметры нагрузки «Резинотехн. изделия; резина, изделия из нее»:

Hf, МДж/кг	V, м/с	Ψ , кг/м ² /с	Dm, Нп*кг/м ²	Lo2, кг/кг	Lco2, кг/кг	Lco, кг/кг	Lhcl, кг/кг
36	0,0184	0,0112	850	2,99	0,416	0,015	0

По формулам, описанным в разделе 2.1.2, они были преобразованы в следующие данные FDS:

HRR, кВт/м ²	Hf, кДж/кг	X	Y	Z	Cl	Ys	Yco
403	36000	1,8883	40,0377	2,5725	0	0,098	0,015

По формулам, описанным в разделе 2.2.2, они были преобразованы в следующие данные FDS:

HRR, кВт/м ²	Hf, кДж/кг	vo2	vco2	vco	vc	vhcl	vh2o	vN2
403	36000	9,7360	0,9849	0,0558	0,9331	0,0000	20,0188	36,6257

Результаты расчета:

	Исходные	Простая стехиометрия	Сложная стехиометрия	Простая к исходным, %	Сложная к исходным, %	Сложная к простой, %
Ψ , кг/с	0,0112	0,011194444	0,011194444	0,0	0,0	0,0
SOOT, кг	0,0218850	0,021255963	0,021133672	-2,9	-3,4	-0,6
CO2, кг	0,093184	0,10014306	0,089979528	7,5	-3,4	-10,1
CO, кг	0,00336	0,003253464	0,003244546	-3,2	-3,4	-0,3
O2, кг	0,66976	0,643933	0,646623	-3,9	-3,5	0,4

Обобщая результаты расчетов, можно сделать вывод, что отличия результатов расчета нагрузок с простой стехиометрией от задаваемых составляет не более 5%, за исключением выделения углекислого газа, где значения в расчете превышают заданные значения до 15%. Отличие результатов расчета нагрузок со сложной стехиометрией составляет не более 4%. Различия между простой и сложной стехиометрией для одних и тех же нагрузок не превышают 4% за исключением выделения углекислого газа.

Таким образом, можно сделать вывод, что преобразования выполняются с достаточной степенью точности и являются корректными.

4.4 Влияние состава сажи на продукты горения

В предыдущей версии базы данных мы принимали, что сажа состоит из чистого углерода C, однако тесты показали, что при этом происходит занижение дымовыделения, поскольку в FDS состав сажи принимается как C_{0.9}H_{0.1} [6, п.15.1.1]. В данной версии состав сажи принят в соответствии с FDS.

Для проверки выбрана реакция «Здания I-II ст. огнест.; мебель+бытовые изделия» со следующими параметрами:

Hf, МДж/кг	V, м/с	Ψ, кг/м2/с	Dm, Нп*кгм2	Lo2, кг/кг	Lco2, кг/кг	Lco, кг/кг	Lhcl, кг/кг
13,8	0,0108	0,0145	270	1,03	0,203	0,0022	0,014

По формулам, описанным в разделе 2.2.2, они были преобразованы в следующие данные FDS:

Состав сажи	vo2	vco2	vco	vc	vhcl	vh2o	vN2
C	2,8066	0,4022	0,0068	0,2480	0,033	8,6140	10,5583
C0.9H0.1	2,8066	0,4022	0,0068	0,2253	0,033	8,6140	10,5583

Результаты расчета:

	Исходные	C	C _{0.9} H _{0.1}	«C» к исходным, %	«C _{0.9} H _{0.1} » к исходным, %
Ψ, кг/с	0,0145	0,014492754	0,014492754	0,0	0,0
SOOT, кг	0,009	0,007793281	0,00858691	-13,4	-4,6
CO2, кг	0,05887	0,056166961	0,056163125	-4,6	-4,6
CO, кг	0,000638	0,000608847	0,000608806	-4,6	-4,6
O2, кг	0,2987	0,28481	0,284973	-4,7	-4,6
HCL, кг	0,00406	0,003873616	0,003873351	-4,6	-4,6

Аналогичные результаты получаются со всеми нагрузками: при составе сажи C отклонение результатов от исходных составляет 12-13% из-за несоответствия химического состава сажи. Поэтому в данной версии состав сажи принят в соответствии с FDS.

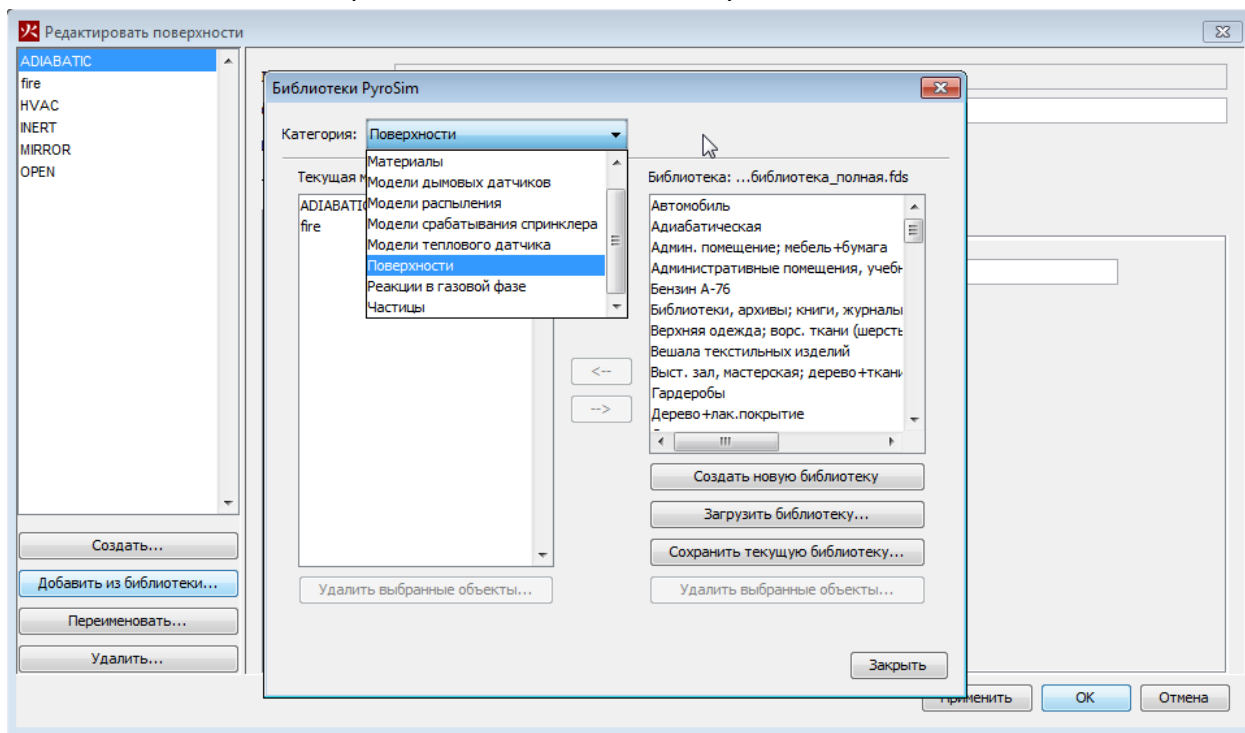
5 Работа с библиотеками

Для ускорения работы PyroSim позволяет использовать библиотеки реакций, материалов, поверхностей и других объектов.

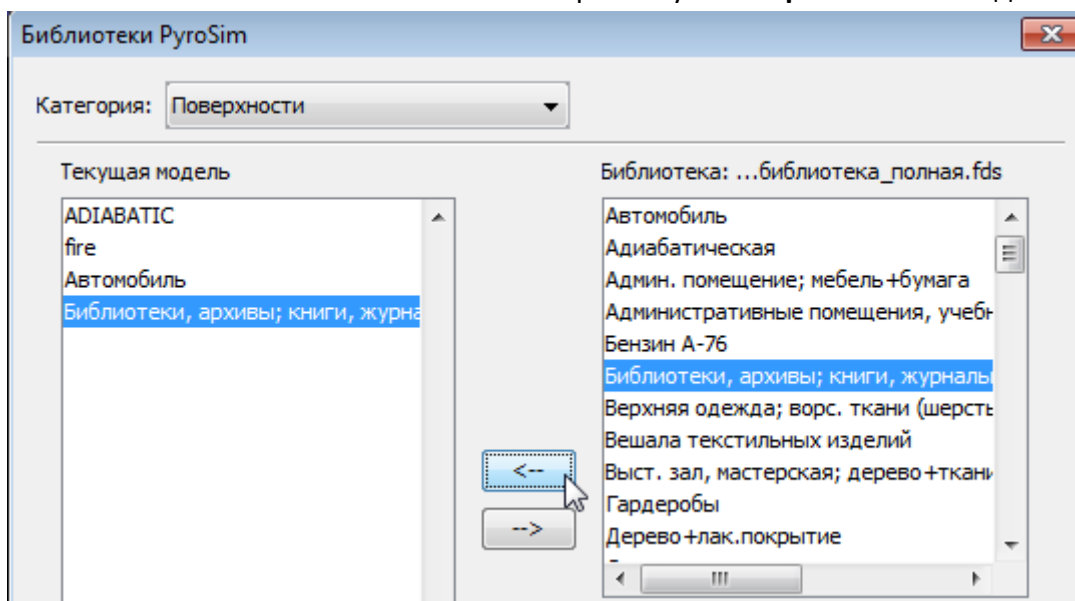
Мы создали файл «**библиотека FireCat 2023.fds**» на основе приведенных в приложении 1, 2 и 3 таблиц (поверхности и реакции).

Чтобы использовать файл библиотеки:

1. В разделе «**Поверхности**» или «**Реакции**» нажмите кнопку «**Добавить из библиотеки**». Откроется окно «Библиотеки PyroSim».



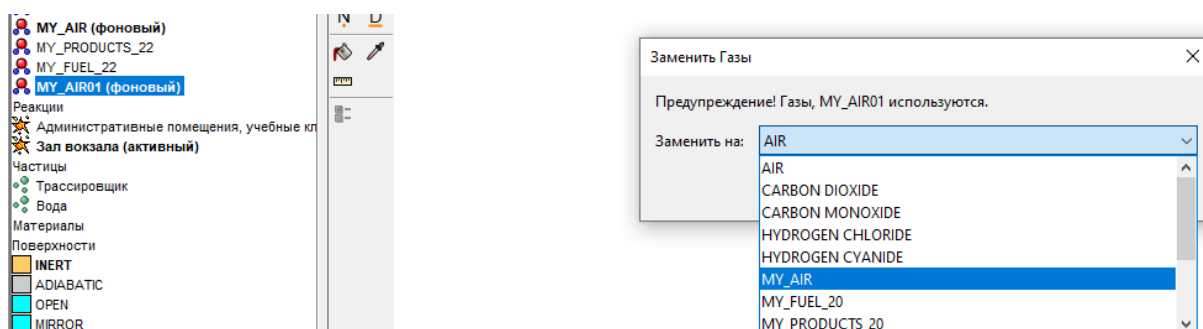
2. Чтобы использовать новую библиотеку, нажмите кнопку «**Загрузить библиотеку**», выберите файл. После этого библиотекой можно пользоваться.
3. Чтобы добавить объекты из библиотеки в расчетную модель, выберите нужный объект в библиотеке и нажмите стрелочку **по направлению** к модели:



Объект будет добавлен в расчетную модель, и им можно пользоваться при работе.

Обратите внимание, в модель будет добавлена не только реакция, но и соответствующие этой реакции газы.

Если добавить в модель несколько сложных реакций, то газ MY_AIR также может быть добавлен несколько раз. Если в модели только одна активная реакция, то это не сыграет роли, однако в случае нескольких активных реакций нужно оставить только один фоновый газ. Для этого нужно удалить лишние газы MY_AIR, заменив их на один.



Обратная стрелочка (от модели к библиотеке) позволяет добавлять объекты в библиотеку для дальнейшего использования в других моделях. Вы можете пополнять своими объектами уже существующую библиотеку или создать свою собственную.

6 Основные ошибки FDS, связанные с газами и реакциями

В случае неверного задания тех или иных параметров, при запуске расчета FDS сообщает об ошибках. Приведем здесь наиболее распространенные ошибки, связанные с реакциями и поверхностями, и возможные способы исправления.

Текст ошибки	Возможная причина и способы исправления
ERROR: Problem with SURF number 1 ERROR: Problem with REAC number 1 ERROR: Problem with SPEC number 1	Указанный объект (SURF, REAC, SPEC) имеет неверные или противоречивые параметры. Номер означает порядковый номер объекта в текстовом виде. Обратите внимание! Первыми считаются данные, находящиеся в поле "Дополнительные записи". Проверьте, что не задано лишних параметров, а те, которые заданы (особенно, вводимые вручную), написаны без ошибок.
ERROR: SPEC AIR, sub species 1 not found ERROR: SPEC PRODUCTS, sub species 1 not found	Такие ошибки возникают, если не задан какой-либо газ, который является составной частью смеси газов (например, AIR и PRODUCTS являются смесью газов). Проверьте, что вы полностью скопировали данные из файла «реакции с хлором». Проверьте, что вы установили галочку «Всегда включать в записи FDS» для газов CARBON DIOXIDE (CO ₂), CARBON MONOXIDE (CO), OXYGEN (O ₂) и HYDROGEN CHLORIDE (HCl) (меню «Модель» – «Редактировать газы» для каждого газа на вкладке «Дополнительно»).
ERROR: SURF fire indicates burning, but	В модели присутствует поверхность, предполагающая горение (т.е. задана поверхность «горелка» или «многослойная» с

there is no REAC line	соответствующими свойствами), но не задано ни одной реакции. Проверьте, что реакция задана и сделана активной в дереве объектов, либо добавлена в раздел «Дополнительные записи».
ERROR: Must specify fuel chemistry using C and/or H when using simple chemistry	В топливе с простой химией должны быть обязательно заданы С и/или Н. Проверьте состав топлива в реакции.
ERROR: Species 11 has the same ID as species 4.	Ошибка означает, что газ 11 имеет то же название, что и газ 4. Поскольку часть газов задается в разделе «Дополнительные записи», а часть газов добавляет FDS автоматически, иногда может возникнуть конфликт, когда газ задан два раза. Перейдите на вкладку «Текстовый вид», посчитайте газы по порядку (строчки, которые начинаются со слова SPEC) и удалите повторяющиеся газы.
ERROR: Cannot define a BACKGROUND species if using the simple chemistry	Обычно такая ошибка возникает, когда одновременно задана реакция в разделе «Реакция» и в текстовом виде в разделе «Дополнительные записи». Выберите, какая реакция правильная, и оставьте только ее.

7 Список литературы

1. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: Учебное пособие. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с. ISBN – 59229-0011-0.
2. А.А Абашкин, А.В. Карпов, Д.В. Ушаков, М.В. Фомин, А.Н. Гилетич, П.М. Комков. Пособие по применению «Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» – М.: ВНИИПО, 2014.
3. Ю.Н. Шебеко, И.М.Смолин, И.С. Молчадский, Н.Л. Полетаев, С.В. Зотов, В.А Колосов, В.Л. Малкин, Е.В. Смирнов, Д.М. Гордиенко. Пособие по применению НПБ 105-95 «Определение категорий помещений и зданий по взрывоопасной и пожарной опасности» при рассмотрении проектно-сметной документации – М.: ВНИИПО, 1998. – 119 с.
4. Ritchie, S.J., Steckler, K.D., Hamins, A., Cleary, T.G., Yang, J.C. and Kashiwagi, T., 1997. The Effect Of Sample Size On The Heat Release Rate Of Charring Materials. Fire Safety Science 5: 177-188. doi:10.3801/IAFSS.FSS.5-177 <http://www.iafss.org/publications/fss/5/177/view>
5. Kenneth D. Steckler. Estimation of Rate of Heat Release by Means of Oxygen Consumption Measurements <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/sp958-lide/280-282.pdf>
6. Fire Dynamics Simulator. User's Guide. NIST Special Publication 1019. Sixth Edition.

8 Приложение 1. Преобразование данных для реакций с простой стехиометрией (без хлора)

Нагрузка	Справочные данные [1], [2]					Данные для PyroSim						«Базовый» материал	
	Hf	Dm	Lo ₂	Lco ₂	Lco	Hf	X	Y	Z	Ys	Yco	база	молярная масса
	МДж/кг	Нп·м ² /кг	кг/кг	кг/кг	кг/кг	МДж/кг				кг/кг	кг/кг		г/моль
Здание I ст. огнест.; мебель+ткани (0,75+0,25)	14,9	58,5	1,437	1,32	0,019	14,9	2,7	10,5	2,7	0,007	0,019	дерево	87
Здание III ст. огнест.; мебель+ткани (0,75+0,25)	14,9	58,5	1,437	1,32	0,019	14,9	2,7	10,5	2,7	0,007	0,019	дерево	87
Кабинет; мебель+бумага (0,75+0,25)	14	53	1,161	0,64	0,032	14	1,4	14,3	3,5	0,006	0,032	дерево	87
Помещение, облицованное панелями; панели ДВП	18,1	130	1,15	0,69	0,022	18,1	1,5	13,8	3,4	0,015	0,022	дерево	87
Админ. помещение; мебель+бумага (0,75+0,25)	14	53	1,161	1,43	0,043	14	3,0	6,6	2,8	0,006	0,043	дерево	87
Библиотеки, архивы; книги, журналы на стеллажах	14,5	49,5	1,154	1,11	0,097	14,5	2,5	9,1	3,0	0,006	0,097	дерево	87
Сценическая часть зрительного зала; древесина	13,8	57	1,15	1,57	0,024	13,8	3,2	5,3	2,7	0,007	0,024	дерево	87
Верхняя одежда; ворс. ткани (шерсть+нейлон)	23,3	129	1,779 (3,698)	0,47	0,015	23,3	1,08	22,1	3,26	0,015	0,015	дерево	87
Издательства, типографии	15,4	41	1,158	0,77	0,169	15,4	2,1	11,7	3,1	0,005	0,169	дерево	87
Промтовары; текстильные изделия	16,7	60,6	1,275 (2,56)	0,88	0,063	16,7	1,99	12,84	3,15	0,007	0,063	дерево	87
Лесопильный цех I-III ст. огнест.; древесина	13,8	57	1,15	1,57	0,024	13,8	3,2	5,3	2,7	0,007	0,024	дерево	87
Лесопильный цех IV-V ст. огнест.; древесина	13,8	57	1,15	1,57	0,024	13,8	3,2	5,3	2,7	0,007	0,024	дерево	87
Цех деревообработки; древесина	13,8	57	1,15	1,57	0,024	13,8	3,2	5,3	2,7	0,007	0,024	дерево	87
Цех сушки древесины; древесина	13,8	57	1,15	1,57	0,024	13,8	3,2	5,3	2,7	0,007	0,024	дерево	87
Производство фанеры; древесина+фанера (0,5+0,5)	16,1	80,5	1,177	1,06	0,072	16,1	2,4	10,1	3,0	0,009	0,072	дерево	87
Штабель древесины; хвойный+лиственный лес	13,8	57	1,15	1,57	0,024	13,8	3,2	5,3	2,7	0,007	0,024	дерево	87
Хвойные древесные стройматериалы; штабель	13,8	61	1,15	1,57	0,024	13,8	3,2	5,3	2,7	0,007	0,024	дерево	87
Лиственные древесные стройматериалы; штабель	13,8	53	1,15	1,57	0,024	13,8	3,2	5,3	2,7	0,006	0,024	дерево	87
Клееные стройматериалы; фанера	18,4	104	1,205	0,54	0,121	18,4	1,5	14,8	3,4	0,012	0,121	дерево	87
Сырье для легкой промышл.; хлопок разрыхл.	16,4	0,6	1,252 (2,3)	0,57	0,005	16,4	1,15	16,23	3,57	0,000	0,005	дерево	87
Сырье для легкой промышл.; лен разрыхл.	15,7	3,37	1,198 (1,83)	0,36	0,004	15,7	0,73	17,75	3,79	0,000	0,004	дерево	87

Работа в программном комплексе FireCat для расчета индивидуального пожарного риска
Библиотека реакций и поверхностей горения в PyroSim

Нагрузка	Справочные данные [1], [2]					Данные для PyroSim						«Базовый» материал	
	Hf	Dm	Lo ₂	Lco ₂	Lco	Hf	X	Y	Z	Ys	Yco	база	молярная масса
	МДж/кг	Нп·м ² /кг	кг/кг	кг/кг	кг/кг	МДж/кг				кг/кг	кг/кг		г/моль
Сырье для легкой промышл.; хлопок+капрон (0,75+0,25)	15,7	4,3	1,198 (3,55)	1,05	0,012	15,7	2,11	11,04	3,17	0,000	0,012	дерево	87
Сырье для легкой промышл.; шерсть	21,8	164	1,759	0,72	0,015	21,8	1,6	19,4	3,0	0,019	0,015	дерево	87
Пищ. промышл.; пшеница, рис, гречиха и мука из них	17	1096	0,968	0,81	0,163	17	3,1	8,3	2,6	0,126	0,163	дерево	87
Склад льноволокна	15,7	3,4	1,198 (1,83)	0,36	0,004	15,7	0,73	17,75	3,79	0,000	0,004	дерево	87
Склад хлопка в тюках	16,7	0,6	1,15	0,58	0,005	16,7	1,2	15,1	3,6	0,000	0,005	дерево	87
Склад бумаги в рулонах	15,1	41	1,158	0,66	0,108	15,1	1,7	13,4	3,3	0,005	0,108	дерево	87
Вешала текстильных изделий	16,72	61	1,276 (2,56)	0,88	0,063	16,72	1,99	12,85	3,15	0,007	0,063	дерево	87
Занавес зрительного зала кинотеатра	13,8	50	1,03	0,2	0,002	13,8	0,5	17,6	4,0	0,006	0,002	дерево	87
Гардеробы	16,7	61	1,276 (2,56)	0,88	0,063	16,72	1,99	12,85	3,15	0,007	0,063	дерево	87
Хранилища библиотек, архивы	14,5	49,5	1,154	1,109	0,0974	14,5	2,5	9,1	3,0	0,006	0,097	дерево	87
Подсобные и бытовые помещения	14	53	1,161	0,642	0,0317	14	1,4	14,3	3,5	0,006	0,032	дерево	87
Стадионы	26,4	78	2,09	1,8	0,127	26,4	4,0	11,2	1,7	0,009	0,127	дерево	87
Спортзалы	16,7	61	1,276 (2,56)	0,88	0,063	16,72	1,99	12,85	3,15	0,007	0,063	дерево	87
Резинотехн. изделия; резина, издел. из нее	36	850	2,99	0,416	0,015	36	1,89	40,00	2,59	0,098	0,015	стирол	104
Провода в резиновой изоляции типа КПРТ, ПТ, ВПРС	37,8	850	2,99	0,42	0,015	37,8	1,9	40,0	2,6	0,098	0,015	стирол	104
Склад оргстекла (ПММА)	26,4	78	2,09	1,8	0,127	26,4	4,8	13,4	2,1	0,009	0,127	стирол	104
Бензин А-76	43,2	256	3,405	2,92	0,175	43,2	7,3	13,8	0	0,029	0,175	Бензин	97,2
Дизельное топливо; соляр	45,4	620	3,368	3,16	0,122	45,4	16,8	22,8	0	0,071	0,122	Диз.топл	203,6
Индустриальное масло	42,7	480	1,589	1,07	0,122	42,7	10,2	45,2	8,5	0,055	0,122	Масло трансформат.	303,9
Керосин	43,3	438	3,341	2,92	0,148	43,3	14,6	26,0	0	0,050	0,148	Керосин осветит.	191,7
Ксилол	41,2	402	3,623	3,66	0,148	41,2	9,8	9,1	0	0,046	0,148	Ксилол	106
Лекарственные препараты, содержащие этиловый спирт и глицерин	26,6	88,1	2,304	1,91	0,262	26,6	2,5	5,7	0,7	0,010	0,262	Этил.спирт	46
Нефть	44,2	438	3,24	3,1	0,161	44,2	7,8	10,0	0	0,050	0,161	Бензин	97,2
Толуол	40,9	562	3,098	3,68	0,148	40,9	8,7	2,1	0	0,065	0,148	Толуол	92
Турбинное масло	41,9	243	3,1985 (0,282)	0,7	0,122	41,9	6,87	113,07	6,78	0,028	0,122	Масло трансформат.	303,9
Этиловый спирт	27,5	80	2,362	1,94	0,269	27,5	2,5	5,9	0,6	0,009	0,269	Этил.спирт	46

* если для нагрузки выполнена коррекция потребляемого кислорода (см. п. 0), то указано скорректированное значение Lo₂, а исходное приведено в скобках. Параметры PyroSim рассчитаны для скорректированного значения.

9 Приложение 2. Преобразование данных для реакций со сложной стехиометрией (все вещества)

Нагрузка	Справочные данные [1], [2]						Данные для PyroSim									«Базовый» материал	
	Hf	Dm	Lo ₂	Lco ₂	Lco	Lhcl	Hf	V _C	V _{o2}	V _{co2}	V _{co}	V _{HCL}	V _{H2O}	V _{N2}	база	Mf	
	МДж/кг	Нп·м ² /кг	кг/кг	кг/кг	кг/кг	кг/кг	МДж/кг	моль	моль	моль	моль	моль	моль	моль			
Здания I-II ст. огнест.; мебель+бытовые изделия	13.8	270	1.03	0.2	0.002	0.014	13,8	0,2480	2,8066	0,4022	0,0068	0,0335	8,6140	10,5583	дерево	87.19355	
Здания I-II ст. огнест.; мебель+ткани	14.7	82	1.437	1.29	0.002	0.006	14,7	0,0753	3,9123	2,5437	0,0068	0,0143	5,4856	14,7177	дерево	87.16459	
Здания III-IV ст. огнест.; мебель+бытовые изделия	13.8	270	1.03	0.2	0.002	0.014	13,8	0,2480	2,8042	0,4018	0,0068	0,0335	8,6066	10,5492	дерево	87.19355	
Здание III-IV ст. огнест.; мебель+ткани	14.7	82	1.437	1.29	0.002	0.006	14,7	0,0753	3,9123	2,5437	0,0068	0,0143	5,4856	14,7177	дерево	87.16459	
Здание I ст. огнест.; мебель+ткани (0,75+0,25)	14.9	58.5	1.437	1.32	0.019	0	14,9	0,0537	3,9123	2,6130	0,0600	0,0000	5,2758	14,7177	дерево	87.16236	
Здание III ст. огнест.; мебель+ткани (0,75+0,25)	14.9	58.5	1.437	1.32	0.019	0	14,9	0,0537	3,9123	2,6130	0,0600	0,0000	5,2758	14,7177	дерево	87.16236	
Кабинет; мебель+бумага (0,75+0,25)	14	53	1.161	0.64	0.032	0	14	0,0487	3,1609	1,2709	0,0986	0,0000	7,1628	11,8910	дерево	87.17929	
Помещение, облицованное панелями; панели ДВП	18.1	130	1.15	0.69	0.022	0	18,1	0,1194	3,1309	1,3580	0,0669	0,0000	6,9034	11,7783	дерево	87.17672	
Админ. помещение; мебель+бумага (0,75+0,25)	14	53	1.161	1.43	0.043	0	14	0,0487	3,1609	2,8387	0,1337	0,0000	3,2782	11,8910	дерево	87.14002	
Обществ. здания; мебель+линолеум ПВХ (0,9+0,1)	14	47.7	1.369	1.48	0.03	0.006	14	0,0438	3,7272	2,9258	0,0933	0,0139	4,1091	14,0213	дерево	87.15015	
Библиотеки, архивы; книги, журналы на стеллажах	14.5	49.5	1.154	1.11	0.097	0	14,5	0,0455	3,1418	2,1947	0,3029	0,0000	4,5564	11,8193	дерево	87.15314	
Сценическая часть зрительного зала; древесина	13.8	57	1.15	1.57	0.024	0	13,8	0,0523	3,1309	3,1079	0,0746	0,0000	2,6570	11,7783	дерево	87.13357	
Верхняя одежда; ворс. ткани (шерсть+нейлон)	23.3	129	1,779 (3.698)	0.47	0.015	0	23,3	0,1185	4,8424	0,9244	0,0451	0,0000	11,0368	18,2167	дерево	87.3329	
Окрашенные полы, стены; дерево+краска РХО (0,9+0,1)	14.1	71.3	1.218	1.47	0.035	0.001	14,1	0,0655	3,3161	2,9099	0,1085	0,0024	3,4039	12,4747	дерево	87.14178	
Выст. зал, мастерская; дерево+ткани+краски (0,9+0,09+0,01)	14	53	1.218	1.42	0.023	1E-04	14	0,0487	3,3161	2,8169	0,0715	0,0002	3,7033	12,4747	дерево	87.14469	
Издательства, типографии	15.4	41	1.158	0.77	0.169	0	15,4	0,0377	3,1527	1,5262	0,5256	0,0000	5,8672	11,8602	дерево	87.16675	
Каюта с синтет. отделкой; дерево+ткани+отделка	15.8	134	1.249	0.85	0.043	0.023	15,8	0,1226	3,4005	1,6727	0,1322	0,0550	6,3985	12,7922	дерево	87.173	
Мебель; дерево+облицовка (0,9+0,1)	14.4	84.1	1.288	1.55	0.037	0.004	14,4	0,0772	3,5067	3,0683	0,1141	0,0086	3,3272	13,1917	дерево	87.14166	
Промтовары; текстильные изделия	16.7	60.6	1,275 (2.56)	0.88	0.063	0	16,7	0,0557	3,4707	1,7400	0,1947	0,0000	6,4135	13,0566	дерево	87.24599	
Лесопильный цех I-III ст. огнест.; древесина	13.8	57	1.15	1.57	0.024	0	13,8	0,0523	3,1309	3,1079	0,0746	0,0000	2,6570	11,7783	дерево	87.13357	
Лесопильный цех IV-V ст. огнест.: древесина	13.8	57	1.15	1.57	0.024	0	13,8	0,0523	3,1309	3,1079	0,0746	0,0000	2,6570	11,7783	дерево	87.13357	

Работа в программном комплексе FireCat для расчета индивидуального пожарного риска
Библиотека реакций и поверхностей горения в PyroSim

Нагрузка	Справочные данные [1], [2]						Данные для PyroSim									«Базовый» материал	
	Hf	Dm	Lo ₂	Lco ₂	Lco	Lhcl	Hf	V _C	V _{o2}	V _{co2}	V _{co}	V _{HCL}	V _{H2O}	V _{N2}	база	Mf	
	МДж/кг	Нп·м ² /кг	кг/кг	кг/кг	кг/кг	кг/кг	МДж/кг	моль	моль	моль	моль	моль	моль	моль		г/моль	
Цех деревообработки; древесина	13.8	57	1.15	1.57	0.024	0	13,8	0,0523	3,1309	3,1079	0,0746	0,0000	2,6570	11,7783	дерево	87.13357	
Цех сушки древесины; древесина	13.8	57	1.15	1.57	0.024	0	13,8	0,0523	3,1309	3,1079	0,0746	0,0000	2,6570	11,7783	дерево	87.13357	
Производство фанеры; древесина+фанера (0,5+0,5)	16.1	80.5	1.177	1.06	0.072	0	16,1	0,0739	3,2045	2,0884	0,2239	0,0000	5,0329	12,0548	дерево	87.15811	
Штабель древесины; хвойный+лиственный лес	13.8	57	1.15	1.57	0.024	0	13,8	0,0523	3,1309	3,1079	0,0746	0,0000	2,6570	11,7783	дерево	87.13357	
Хвойные древесные стройматериалы; штабель	13.8	61	1.15	1.57	0.024	0	13,8	0,0560	3,1309	3,1079	0,0746	0,0000	2,6548	11,7783	дерево	87.13356	
Лиственные древесные стройматериалы; штабель	13.8	53	1.15	1.57	0.024	0	13,8	0,0487	3,1309	3,1079	0,0746	0,0000	2,6593	11,7783	дерево	87.13358	
Клееные стройматериалы; фанера	18.4	104	1.205	0.54	0.121	0	18,4	0,0955	3,2807	1,0690	0,3763	0,0000	7,4087	12,3416	дерево	87.18266	
Сырье для легкой промышл.; хлопок разрыхл.	16.4	0.6	1,252 (2.3)	0.57	0.005	0	16,4	0,0006	3,4084	1,1283	0,0162	0,0000	8,1079	12,8220	дерево	87.24904	
Сырье для легкой промышл.; лен разрыхл.	15.7	3.37	1,198 (1.83)	0.36	0.004	0	15,7	0,0031	3,2629	0,7126	0,0121	0,0000	8,8698	12,2748	дерево	87.23259	
Сырье для легкой промышл.; хлопок+капрон (0,75+0,25)	15.7	4.3	1,198 (3.55)	1.05	0.012	0	15,7	0,0039	3,2629	2,0686	0,0373	0,0000	5,5176	12,2748	дерево	87.29669	
Сырье для легкой промышл.; шерсть	21.8	164	1.759	0.72	0.015	0	21,8	0,1507	4,7890	1,4154	0,0476	0,0000	9,7193	18,0157	дерево	87.21016	
Пищ. промышл.; пшеница, рис, гречиха и мука из них	17	1096	0.968	0.81	0.163	0	17	1,0064	2,6354	1,6074	0,5070	0,0000	4,1928	9,9142	дерево	87.15084	
Склад льноволокна	15.7	3.4	1,198 (1.83)	0.36	0.004	0	15,7	0,0031	3,2629	0,7126	0,0121	0,0000	8,8698	12,2748	дерево	87.23259	
Склад хлопка в тюках	16.7	0.6	1.15	0.58	0.005	0	16,7	0,0006	3,1309	1,1442	0,0162	0,0000	7,5764	11,7783	дерево	87.18314	
Склад бумаги в рулонах	15.1	41	1.158	0.66	0.108	0	15,1	0,0377	3,1527	1,3134	0,3350	0,0000	6,6835	11,8602	дерево	87.17473	
Дерево+лак.покрытие; 0,95*древесина+0,05*(ФЛ+РХО)	13.9	64.1	1.191	0.72	0.021	5E-04	13,9	0,0589	3,2426	1,4332	0,0638	0,0012	6,9570	12,1982	дерево	87.17743	
Зал; 0,5*ДВП+0,1*(ткань, искожа ПВХ, ППУ)+0,2*дерево с покрытием	16.2	176	1.574	0.82	0.041	0.014	16,2	0,1613	4,2853	1,6173	0,1275	0,0342	8,1315	16,1209	дерево	87.19306	
Тара: древесина +картон +полистирол (0,5+0,25+0,25)	20.71	155	1.52	0.97	0.094	0.005	20,71	0,1424	4,1383	1,9202	0,2924	0,0110	6,9325	15,5678	дерево	87.18047	
Упаковка: бумага+картон + (этилен +стирол) (0,4+0,3+0,15 +0,15)	23.54	172	1.7	0.68	0.112	0.004	23,54	0,1580	4,6283	1,3441	0,3483	0,0088	9,1181	17,4114	дерево	87.20414	
Вешала текстильных изделий	16.72	61	1,276 (2.56)	0.88	0.063	0	16,72	0,0560	3,4749	1,7400	0,1959	0,0000	6,4187	13,0722	дерево	87.24597	
Отделка: ковролин	15.4	150	1.176 (2.55)	1.23	0.207	0.004	15,4	0,1377	3,2006	2,4249	0,6438	0,0093	3,4935	12,0402	дерево	87.22169	
Мебель+бумага (0,8)+ ковровое покрытие (0,2)	14.28	72.4	1.439	0.76	0.068	8E-04	14,28	0,0665	3,9178	1,5025	0,2115	0,0019	7,7512	14,7382	дерево	87.1877	
Занавес зрительного зала кинотеатра	13.8	50	1.03	0.2	0.002	0	13,8	0,0459	2,8042	0,4018	0,0068	0,0000	8,7966	10,5492	дерево	87.19463	

Работа в программном комплексе FireCat для расчета индивидуального пожарного риска
Библиотека реакций и поверхностей горения в PyroSim

Нагрузка	Справочные данные [1], [2]						Данные для PyroSim									«Базовый» материал	
	Hf	Dm	Lo ₂	Lco ₂	Lco	Lhcl	Hf	V _C	V _{o2}	V _{co2}	V _{co}	V _{NCL}	V _{N2O}	V _{N2}	база	Mf	
	МДж/кг	Нп·м ² /кг	кг/кг	кг/кг	кг/кг	кг/кг	МДж/кг	моль	моль	моль	моль	моль	моль	моль		г/моль	
Жилые помещения гостиниц, общежитий и т.д.	13.8	270	1.03	0.203	0.0022	0.014	13,8	0,2480	2,8042	0,4018	0,0068	0,0335	8,6066	10,5492	дерево	87.19355	
Столовая, зал ресторана и т.д.	13.8	82	1.437	1.285	0.0022	0.006	13,8	0,0753	3,9123	2,5437	0,0068	0,0143	5,4856	14,7177	дерево	87.16459	
Зал театра, кинотеатра, клуба, цирка и т.д.	13.8	270	1.03	0.203	0.0022	0.014	13,8	0,2480	2,8042	0,4018	0,0068	0,0335	8,6066	10,5492	дерево	87.19355	
Гардеробы	16.7	61	1,276 (2.56)	0.88	0.063	0	16,7	0,0560	3,4707	1,7420	0,1959	0,0000	6,4065	13,0566	дерево	87.24592	
Хранилища библиотек, архивы	14.5	49.5	1.154	1.109	0.0974	0	14,5	0,0455	3,1418	2,1947	0,3029	0,0000	4,5564	11,8193	дерево	87.15314	
Музеи, выставки	13.8	270	1.03	0.203	0.0022	0.014	13,8	0,2480	2,8042	0,4018	0,0068	0,0335	8,6066	10,5492	дерево	87.19355	
Подсобные и бытовые помещения	14	53	1.161	0.642	0.0317	0	14	0,0487	3,1609	1,2709	0,0986	0,0000	7,1628	11,8910	дерево	87.17929	
Административные помещения, учебные классы школ, ВУЗов, кабинеты поликлиник	14	47.7	1.369	1.478	0.03	0.0058	14	0,0438	3,7272	2,9258	0,0933	0,0139	4,1091	14,0213	дерево	87.15015	
Магазины	15.8	270	1.25	0.85	0.043	0.023	15,8	0,2480	3,4032	1,6826	0,1337	0,0550	6,3009	12,8025	дерево	87.17236	
Зал вокзала	13.8	270	1.03	0.203	0.0022	0.014	13,8	0,2480	2,8042	0,4018	0,0068	0,0335	8,6066	10,5492	дерево	87.19355	
Стадионы	26.4	78	2.09	1.8	0.127	0	26,4	0,0716	5,6901	3,5632	0,3950	0,0000	5,5807	21,4058	дерево	87.17123	
Спортзалы	16.7	61	1,276 (2.56)	0.88	0.063	0	16,7	0,0560	3,4707	1,7420	0,1959	0,0000	6,4065	13,0566	дерево	87.24592	
Автомобиль; 0,3*(резина, бензин)+0,15*(ППУ, искожа ПВХ)+0,1*эмаль	31.7	487	2.64	1.3	0.097	0.0109	31,7	0,5346	8,5963	3,0659	0,3608	0,0311	12,6148	32,3384	стирол	104.3233	
Стоянки легковых автомобилей	31.7	487	2.64	1.3	0.097	0.011	31,7	0,5346	8,5963	3,0778	0,3608	0,0314	12,5853	32,3384	стирол	104.323	
Стоянки легковых автомобилей с двухуровневым хранением	31.7	487	2.64	1.3	0.097	0.011	31,7	0,5346	8,5963	3,0778	0,3608	0,0314	12,5853	32,3384	стирол	104.323	
Резинотехн. изделия; резина, изделия из нее	36	850	2.99	0.42	0.015	0	36	0,9331	9,7360	0,9849	0,0558	0,0000	20,0188	36,6257	стирол	104.4019	
Кабельный подвал/поток; кабели АВВГ+АПВГ	30.7	521	2.19	0.65	0.13	0.02	30,7	0,5719	7,1310	1,5389	0,4817	0,0577	13,4782	26,8262	стирол	104.3282	
Радиоматериалы; поли(этилен, стирол, пропиол), гетинакс	34.8	381	3.312	0.76	0.1	0.007	34,8	0,4183	10,7844	1,8088	0,3720	0,0209	19,6464	40,5700	стирол	104.4005	
Электротехн. материалы; текстолит, карболит	20.9	327	1.95	0.38	0.056	0.005	20,9	0,3590	6,3495	0,8878	0,2068	0,0154	14,3226	23,8863	стирол	104.3331	
Электрокабель АВВГ; ПВХ оболочка+изоляция	25	635	2.19	0.4	0.109	0.025	25	0,6971	7,1310	0,9423	0,4055	0,0700	14,9536	26,8262	стирол	104.3435	
Электрокабель АПВГ; ПВХ-оболочка+полиэтилен	36.4	407	2.19	0.9	0.15	0.016	36,4	0,4468	7,1310	2,1379	0,5580	0,0457	11,9965	26,8262	стирол	104.3129	
Телефонный кабель ТВП; ПВХ+полиэтилен	34.6	556	2.19	0.9	0.124	0.016	34,6	0,6104	7,1310	2,1379	0,4613	0,0446	12,0501	26,8262	стирол	104.3137	
Провода в резиновой изоляции типа КПРТ, ПТ, ВПРС	37.8	850	2.99	0.42	0.015	0	37,8	0,9331	9,7360	0,9849	0,0558	0,0000	20,0188	36,6257	стирол	104.4019	
Склад оргстекла (ПММА)	26.4	78	2.09	1.8	0.127	0	26,4	0,0856	6,8054	4,2497	0,4709	0,0000	6,7057	25,6012	стирол	104.2569	
Кабели+провода; 0,75* (АВВГ, АПВГ, ТПВ)+0,25*(КПРТ, ПР, ШРПС)	33.5	612	2.389	0.66	0.1	0.014	33,5	0,6718	7,7790	1,5507	0,3701	0,0400	14,7491	29,2638	стирол	104.3429	

Работа в программном комплексе FireCat для расчета индивидуального пожарного риска
Библиотека реакций и поверхностей горения в PyroSim

Нагрузка	Справочные данные [1], [2]						Данные для PyroSim									«Базовый» материал	
	Hf	Dm	Lo ₂	Lco ₂	Lco	Lhcl	Hf	V _C	V _{o2}	V _{co2}	V _{co}	V _{HCL}	V _{H2O}	V _{N2}	база	Mf	
	МДж/кг	Нп·м²/кг	кг/кг	кг/кг	кг/кг	кг/кг	МДж/кг	моль	моль	моль	моль	моль	моль	моль		г/моль	
Сырье и изделия из синтетического каучука	43	212	2.985	1.41	0.15	0.005	43	0,2327	9,7197	3,3335	0,5580	0,0143	13,8670	36,5644	стирол	104.3386	
Бензин А-76	43.2	256	3.405	2.92	0.175	0	43,2	0,2622	10,3431	6,4492	0,6073	0,0000	6,9092	38,9096	Бензин	97.27816	
Дизельное топливо; соляр	45.4	620	3.368	3.16	0.122	0	45,4	1,3302	21,4297	14,6329	0,8868	0,0000	11,4340	80,6164	Диз.топл	203.7338	
Индустриальное масло	42.7	480	1.589	1.07	0.122	0	42,7	1,5369	15,0911	7,3887	1,3237	0,0000	22,6353	56,7712	Масло трансформ ат.	304.1051	
Керосин	43.3	438	3.341	2.92	0.148	0	43,3	0,8848	20,0154	12,7192	1,0129	0,0000	13,0101	75,2960	Керосин осветит.	191.8475	
Ксилол	41.2	402	3.623	3.66	0.148	0	41,2	0,4490	12,0016	8,8081	0,5601	0,0000	4,5411	45,1490	Ксилол	106.0573	
Лекарственные препараты, содержащие этиловый спирт и глицерин	26.6	88.1	2.304	1.91	0.262	0	26,6	0,0427	3,3121	1,9985	0,4303	0,0000	2,8595	12,4599	Этил.спирт	46.02816	
Нефть	44.2	438	3.24	3.1	0.161	0	44,2	0,4486	9,8419	6,8555	0,5587	0,0000	4,9889	37,0241	Бензин	97.25767	
Толуол	40.9	562	3.098	3.68	0.148	0	40,9	0,5447	8,9071	7,6866	0,4861	0,0000	1,0643	33,5076	Толуол	92.01662	
Турбинное масло	41.9	243	3,1985 (0.282)	0.7	0.122	0	41,9	0,7781	30,3766	4,8337	1,3237	0,0000	56,4865	114,273 9	Масло трансформ ат.	303.9111	
Этиловый спирт	27.5	80	2.362	1.94	0.269	0	27.5	0.0388	3.3955	2.0246	0.4418	0.0000	2.9282	12.7735	Этил.спирт	46.02911	

* если для нагрузки выполнена коррекция потребляемого кислорода (см. п. 0), то указано скорректированное значение Lo₂, а исходное приведено в скобках. Параметры PyroSim рассчитаны для скорректированного значения.

10 Приложение 3. Преобразование данных для поверхностей горения

Топливо	Справочные данные [1], [2]			Данные для PyroSim	
	Hf	v	ψ	HRR	v
	МДж/кг	м/с	кг/м ² ·с	кВт/м ²	м/с
Здания I-II ст. огнест.; мебель+бытовые изделия	13,8	0,011	0,015	200	0,0108
Здания I-II ст. огнест.; мебель+ткани	14,7	0,011	0,015	213	0,0108
Здания III-IV ст. огнест.; мебель+бытовые изделия	13,8	0,047	0,034	475	0,0465
Здание III-IV ст. огнест.; мебель+ткани	14,7	0,047	0,034	506	0,0465
Здание I ст. огнест.; мебель+ткани (0,75+0,25)	14,9	0,013	0,016	241	0,0125
Здание III ст. огнест.; мебель+ткани (0,75+0,25)	14,9	0,04	0,016	241	0,04
Кабинет; мебель+бумага (0,75+0,25)	14	0,042	0,013	181	0,042
Помещение, облицованное панелями; панели ДВП	18,1	0,041	0,014	259	0,0405
Админ. помещение; мебель+бумага (0,75+0,25)	14	0,022	0,021	294	0,022
Обществ. здания; мебель+линолеум ПВХ (0,9+0,1)	14	0,015	0,014	192	0,015
Библиотеки, архивы; книги, журналы на стеллажах	14,5	0,01	0,011	160	0,0103
Сценическая часть зрительного зала; древесина	13,8	0,037	0,015	200	0,0368
Верхняя одежда; ворс. ткани (шерсть+нейлон)	23,3	0,084	0,013	303	0,0835
Окрашенные полы, стены; дерево+краска РХО (0,9+0,1)	14,1	0,015	0,015	204	0,0151
Выст. зал, мастерская; дерево+ткани+краски (0,9+0,09+ 0,01)	14	0,016	0,015	213	0,0163
Издательства, типографии	15,4	0,004	0,006	94	0,004
Каюта с синтет. отделкой; дерево+ткани+отделка	15,8	0,018	0,015	237	0,0177
Мебель; дерево+облицовка (0,9+0,1)	14,4	0,015	0,014	194	0,0154
Промтовары; текстильные изделия	16,7	0,007	0,024	407	0,0071
Лесопильный цех I-III ст. огнест.; древесина	13,8	0,04	0,015	200	0,0396
Лесопильный цех IV-V ст. огнест.; древесина	13,8	0,058	0,015	200	0,0583
Цех деревообработки; древесина	13,8	0,022	0,015	200	0,022
Цех сушки древесины; древесина	13,8	0,038	0,015	200	0,0375
Производство фанеры; древесина+фанера (0,5+0,5)	16,1	0,019	0,012	188	0,0191
Штабель древесины; хвойный+лиственный лес	13,8	0,059	0,015	200	0,0585
Хвойные древесные стройматериалы; штабель	13,8	0,059	0,006	87	0,0585
Лиственные древесные стройматериалы; штабель	13,8	0,059	0,014	193	0,0585
Клееные стройматериалы; фанера	18,4	0,017	0,009	164	0,0167
Сырье для легкой промышл.; хлопок разрыхл.	16,4	0,045	0,021	349	0,0445
Сырье для легкой промышл.; лен разрыхл.	15,7	0,05	0,021	334	0,05
Сырье для легкой промышл.; хлопок+капрон (0,75+0,25)	15,7	0,028	0,013	196	0,028
Сырье для легкой промышл.; шерсть	21,8	0,028	0,02	436	0,028

Работа в программном комплексе FireCat для расчета индивидуального пожарного риска
Библиотека реакций и поверхностей горения в PyroSim

Топливо	Справочные данные [1], [2]			Данные для PyroSim	
	Hf	v	ψ	HRR	v
	МДж/кг	м/с	кг/м ² ·с	кВт/м ²	м/с
Пищ. промышл.; пшеница, рис, гречиха и мука из них	17	0,005	0,008	136	0,005
Склад льноволокна	15,7	0,071	0,021	334	0,071
Склад хлопка в тюках	16,7	0,004	0,017	279	0,0042
Склад бумаги в рулонах	15,1	0,005	0,008	121	0,005
Дерево+лак.покрытие; 0,95*древесина+0,05*(ФЛ+РХО)	13,9	0,015	0,023	313	0,0151
Зал; 0,5*ДВП+0,1*(ткань, искожа ПВХ, ППУ)+0,2*дерево с покрытием	16,2	0,029	0,012	199	0,0293
Тара: древесина +картон +полистирол (0,5+0,25+0,25)	20,71	0,01	0,018	373	0,01
Упаковка: бумага+картон + (этилен +стирол) (0,4+0,3+0,15 +0,15)	23,54	0,004	0,013	311	0,004
Вешала текстильных изделий	16,72	0,008	0,025	410	0,0078
Отделка: ковролин	15,4	0,021	0,013	200	0,021
Мебель+бумага (0,8)+ ковровое покрытие (0,2)	14,28	0,034	0,013	184	0,034
Занавес зрительного зала кинотеатра	13,8	0,05	0,012	159	0,05
Жилые помещения гостиниц, общежитий и т.д.	13,8	0,0045	0,015	200	0,0045
Столовая, зал ресторана и т.д.	13,8	0,0045	0,015	200	0,0045
Зал театра, кинотеатра, клуба, цирка и т.д.	13,8	0,0055	0,015	200	0,0055
Гардеробы	16,7	0,007	0,025	418	0,007
Хранилища библиотек, архивы	14,5	0,008	0,011	160	0,008
Музеи, выставки	13,8	0,0055	0,015	200	0,0055
Подсобные и бытовые помещения	14	0,042	0,013	181	0,042
Административные помещения, учебные классы школ, ВУЗов, кабинеты поликлиник	14	0,0045	0,014	192	0,0045
Магазины	15,8	0,0055	0,015	237	0,0055
Зал вокзала	13,8	0,0055	0,015	200	0,0055
Стадионы	26,4	0,004	0,004	106	0,004
Спортзалы	16,7	0,0045	0,024	401	0,0045
Автомобиль; 0,3*(резина, бензин)+0,15*(ППУ, искожа ПВХ) +0,1*эмаль	31,7	0,007	0,023	739	0,0068
Стоянки легковых автомобилей	31,7	0,0068	0,023	729	0,0068
Стоянки легковых автомобилей с двухуровневым хранением	31,7	0,0136	0,023	729	0,0136
Резинотехн. изделия; резина, изделия из нее	36	0,018	0,011	403	0,0184
Кабельный подвал/поток; кабели АВВГ+АПВГ	30,7	0,007	0,024	749	0,0071

Работа в программном комплексе FireCat для расчета индивидуального пожарного риска
Библиотека реакций и поверхностей горения в PyroSim

Топливо	Справочные данные [1], [2]			Данные для PyroSim	
	Hf	v	ψ	HRR	v
	МДж/кг	м/с	кг/м ² ·с	кВт/м ²	м/с
Радиоматериалы; поли(этилен, стирол, пропил), гетинакс	34,8	0,014	0,018	616	0,0137
Электротехн. материалы; текстолит, карболит	20,9	0,013	0,008	159	0,0125
Электрокабель АВВГ; ПВХ оболочка+изоляция	25	0,007	0,024	610	0,0071
Электрокабель АПВГ; ПВХ-оболочка+полиэтилен	36,4	0,007	0,024	888	0,0071
Телефонный кабель ТВП; ПВХ+полиэтилен	34,6	0,002	0,009	294	0,0022
Провода в резиновой изоляции типа КПРТ, ПТ, ВПРС	37,8	0,005	0,192	7246	0,005
Склад оргстекла (ПММА)	26,4	0,008	0,004	108	0,008
Кабели+провода; 0,75* (АВВГ, АПВГ, ТПВ)+0,25*(КПРТ, ПР, ШРПС)	33,5	0,005	0,062	2084	0,0054
Сырье и изделия из синтетического каучука	43	0,014	0,011	473	0,0143
Бензин А-76	43,2	-	0,059	2549	-
Дизельное топливо; соляр	45,4	-	0,042	1907	-
Индустриальное масло	42,7	-	0,043	1836	-
Керосин	43,3	-	0,041	1775	-
Ксилол	41,2	-	0,09	3708	-
Лекарственные препараты, содержащие этиловый спирт и глицерин	26,6	-	0,033	878	-
Нефть	44,2	-	0,024	1061	-
Толуол	40,9	-	0,043	1759	-
Турбинное масло	41,9	-	0,03	1257	-
Этиловый спирт	27,5	-	0,031	853	-

В виде библиотеки для использования в PyroSim данных о поверхностях горения приведены в файле «**библиотека FireCat.fds**».

Обратите внимание, что в библиотеке приведены только данные о HRR (удельной скорости тепловыделения). Скорость распространения пламени указывается в примечании к поверхности, ее необходимо вручную задать в свойствах вент.отверстия/препятствия/поверхности.