



Fenix+ 3

Техническое руководство. Моделирование
пожара

АО «Современные программные технологии»

версия 3.2.2

Содержание

1. Введение	4
1.1. FDS	4
1.2. Входной файл для FDS	4
1.3. Название входного файла	4
1.3.1. Формат группы параметров	4
1.4. Структура входного файла	5
2. Преобразование объектов сцены	6
2.1. Область расчёта	6
2.2. Размеры Области расчёта и Размер ячейки	9
2.3. Размещение нескольких Областей расчёта	10
2.4. Преобразование Областей расчёта	11
2.5. Коррекция размера Областей расчёта по оси Z	13
2.6. Устранение пересечения областей	14
2.7. Пример устранения пересечения	15
2.8. Примеры преобразования областей расчёта	16
2.9. Очаг пожара	17
2.10.Элемент «Очаг пожара»	17
2.11.Дополнительные настройки очага пожара	23
2.11.1. Опция «Уменьшать скорость выгорания в два раза»	23
2.11.2. Опция «Распространение пламени на боковые поверхности»	25
2.11.3. Свойство «Указать максимальную площадь горения»	29
2.11.4. Свойство «В огне»	32
2.11.5. Уменьшение скорости выгорания в два раза	34
2.11.6. Необходимое время моделирования	39
2.11.7. Влияние размеров расчётного домена	40
2.12.Элементы со свойством «Материал»	41
2.13.Разбиение материальных элементов на OBST	43
2.14.Материал	48
2.15.Толщина	51
2.16.Дверь и Окно	53
2.17.Дверь	54
2.18.Окно	54
2.19.Индивидуальные параметры элемента Дверь	55
2.20.Прочие параметры элемента Окно	57
2.21.Помещение	58
2.22.Вентиляция	59
3. Глобальные условия моделирования	63
3.1. Начальные условия	63

3.2. Реакция горения	64
3.3. Ветер	70
4. Эффекты, связанные с давлением	71
4.1. Эффекты, связанные с давлением	71
4.1.1. Моделирование давления в FDS	71
4.1.2. Зоны давления	72
4.1.3. Утечки	72
4.1.4. Характеристики конструкций, определяющие утечки	73
4.1.5. Важность учёта утечек	76
4.1.6. Задание утечек в Fenix+	78
4.1.7. Преобразование информации об утечках в файл fds	79
4.1.8. Производительность утечек в FDS	82
4.1.9. Пример сценария с утечками	84
4.1.10. Важные замечания про использование утечек	85
5. Измерение опасных факторов пожара	89
5.1. Регистратор	89
5.2. Отдельно стоящий регистратор	89
5.3. Регистратор в двери	91
5.4. Регистратор на Лестнице или Пандусе	92
5.5. Слайсы	93
5.6. Видимость	93
5.7. Тепловой поток на ограждающих конструкциях	96
6. Параметры моделирования	98
6.1. Время моделирования	98
6.2. Многопоточное моделирование	99
6.2.1. Запуск в многопоточном режиме с помощью OpenMP	101
6.2.2. Запуск в многопоточном режиме с помощью MPI	101
6.2.3. Сравнение ускорения моделирования с помощью OpenMP и MPI	102
6.2.4. Запуск FDS в многопоточном режиме в Fenix+ 3	105
6.2.5. Примеры формирования групп MESH	106
7. Дополнительные сведения	108
7.1. Молярная масса веществ	108
7.2. Литература	108

1. Введение

1.1. FDS

Приложение Fenix+ 3 выполняет моделирование динамики развития пожара при помощи программы FDS.

Программа FDS реализует вычислительную гидродинамическую модель тепло-массопереноса при горении. FDS численно решает уравнение Навье-Стокса для низкоскоростных, температурно-зависимых потоков. Особое внимание в FDS уделяется распространению дыма и теплопередаче при пожаре.

Приложение Fenix+ 3 поддерживает работу с программой FDS версии 6.8.0 [7, 8].

Для выполнения моделирования с помощью программы FDS требуется специально подготовленный входной текстовый файл в формате ASCII с расширением «fds» (далее – входной файл). Входной файл должен содержать все необходимые параметры для описания сценария, объединенных в группы.

Приложение Fenix+ 3 формирует входной файл на основе сценария, который пользователь создал в приложении. Объекты сценария, свойства сценария и параметры моделирования преобразуются в одну или несколько групп параметров во входном файле.

1.2. Входной файл для FDS

Все русские символы и текстовые значения, используемые в сценарии Fenix+ 3, во входном файле транслитерируются. Например, название «Стена 1» во входном файле преобразуется в «Stena 1».

1.3. Название входного файла

Каждый сценарий в проекте Fenix+ 3 имеет свой уникальный идентификатор – последовательность из 8-ми символов английского алфавита и цифр. Идентификатор сценария используется в качестве названия входного файла для FDS (например, «0de3621b.fds»).

1.3.1. Формат группы параметров

Каждая группа параметров во входном файле начинается с символа «&» и заканчивается символом «/». Всё, что не заключено в эти символы считается комментарием и игнорируется FDS.

Примеры групп параметров:

```
&VENT XB=4,6,2,3,0.5,0.5 SURF_ID='1' SPREAD_RATE=0.0068 XYZ=5.125,2.625,0.5 CTRL_I
```

```
&SURF ID='1' FYI='Ochag pozhara 1' HRRPUA=2350.296 COLOR='RED'/
```

Сразу за символом «&» следует название группы параметров. После названия группы следует список параметров и их значений в формате =. Параметры могут разделяться между собой как запятой, так и пробелом. Fenix+ 3 для разделения параметров использует символ пробела.

Параметры могут находиться на нескольких строках. Fenix+ 3 размещает все параметры в одной строке.

Если для параметра в FDS предусмотрено значение по умолчанию, и оно совпадает с требуемым значением для сценария, то этот параметр может быть исключен из входного файла.

В некоторых группах параметров имеется параметр «ID». Он устанавливается уникальным для каждой группы, имеющей индекс. Индекс используется для ссылки на группу параметров. Например, в группе параметров *OBST* можно указать ссылку на группу параметров *SURF*, в которой описываются свойства поверхности, которая покрывает *OBST*. А в группе *SURF*, в свою очередь, может быть указана ссылка на группу *MATL*, в которой описываются параметры материала:

```
&MATL **ID='3'** CONDUCTIVITY=1 DENSITY=1000 SPECIFIC_HEAT=1/
```

```
&SURF **ID='4'** THICKNESS=0.25 RGB=128,128,128 **MATL_ID='3'**/
```

```
&OBST XB=2.75,3,1.75,2,0,3.1 **SURF_ID='4'** RGB=128,128,128/
```

1.4. Структура входного файла

Входной файл начинается группой параметров *HEAD*:

```
&HEAD CHID='0de3621b' TITLE='Novyj proekt: Scenarij 2' FYI='Fajl sgenerirovan Fenix+ 3 Ultin
```

CHID – строка (максимальная длина 30 символов), которая будет использоваться при именовании всех файлов, получаемых в результате работы FDS. Fenix+ 3 для *CHID* использует идентификатор сценария. Соответственно, *CHID* совпадает с именем входного файла.

TITLE – описание сценария (максимальная длина 30 символов). Не влияет на результаты моделирования. Fenix+ для *TITLE* использует название сценария. Если

транслитерированное название сценария больше 30-ти символов, то *TITLE* состоит из начала и окончания названия сценария, чтобы длина не превышала 30-ти символов.

FYI – дополнительная заметка или комментарий. Не влияет на результаты моделирования. Fenix+ 3 в параметре *FYI* указывает версию Fenix+ 3, с помощью которой был сформирован файл, а также версию FDS, для которой он был сформирован.

Заканчивается входной файл группой параметров *TAIL*. У группы *TAIL* нет параметров:

&TAIL /

Между группами *HEAD* и *TAIL* размещаются все остальные группы, определяющие сценарий развития пожара и параметры моделирования для FDS.

В настоящее время при формировании входного файла Fenix+ 3 используются следующие группы:

DUMP, TIME, MISC, MESH, VENT, SURF, OBST, REAC, DEVC, SLCF, RAMP, SPEC, BNDF, ZONE, INIT

Не обязательно все группы присутствуют в каждом входном файле. Конкретный набор использованных групп зависит от сценария и параметров моделирования, заданных пользователем в сценарии Fenix+ 3.

Далее будут рассмотрены все составляющие сценария Fenix+ 3, и в какие группы параметров они преобразуются во входном файле для FDS.

2. Преобразование объектов сцены

2.1. Область расчёта

Инструмент **Область расчета** позволяет задать область, в которой необходимо моделировать развитие пожара.

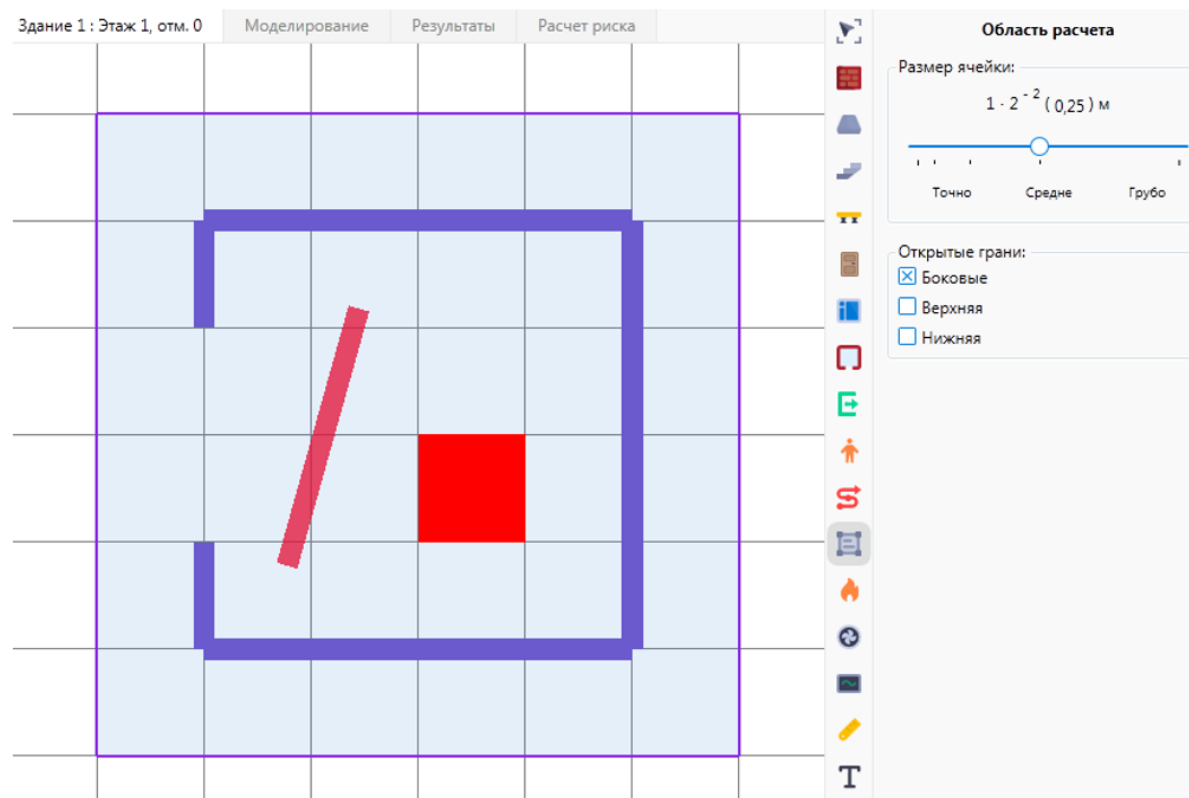


Рис. 1: Задание Области расчёта

Расчётным доменом считается область пространства, внутри которой будет производиться расчёт. Она определяется совокупностью заданных Областей расчёта.

Доступные для использования размеры ячеек Областей расчёта могут быть рассчитаны по формуле

$$CellSize = BaseSize \cdot Factor^{-rate}$$

$$ratio \in [MinRatio; MaxRatio]$$

Параметры моделирования пожара

Сценарий 1

Общие Начальные условия Двери и окна

Очаг пожара Области расчета Ветер

Обработка областей расчета

☒ Автоматически корректировать (рекомендуется)
Программа автоматически скорректирует области расчета, чтобы они удовлетворяли всем требованиям FDS.

☐ Передавать неизменными
Используйте этот вариант только если уверены, что области расчета и их расположение удовлетворяет всем требованиям FDS.

Размеры ячеек областей расчета

$CellSize = BaseSize \cdot Factor^{-rate}$, $rate \in [MinRate, MaxRate]$

BaseSize: 1 м MinRate: 1

Factor: 2 MaxRate: 5

Размеры: 0,5 м

Применить Отменить

Рис. 2: Задание параметра BaseSize

Область расчёта передаётся в файл FDS посредством группы параметров MESH (Сетка), а также группы параметров VENT, если у области расчёта имеются «открытые» грани. В простейших сценариях соответствие Области расчёта и Сетки может быть однозначное. Но в общем случае соответствие лишь приблизительное, так как, например, одна Область расчета может во входном файле FDS формировать несколько групп MESH или, даже наоборот, несколько Областей расчета может преобразоваться в одну группу MESH.

Рассмотрим группу MESH.

&MESH IJK = 36, 24, 12 XB = -1, 8, 1, 7, -0.1, 3 MPI_PROCESS=0/

Здесь параметр XB задаёт координаты прямоугольного параллелепипеда, определяющего область расчёта в FDS. Параметр IJK задаёт, на какое количество ячеек вдоль каждой оси координат будет разбита область. В приведённом выше примере область расчёта расположена между координатами -1 м и 8 м по оси X и разбит вдоль этой оси на 36 ячеек. Соответственно, размер ячейки по оси X составляет 0.25 м.

Параметр MPI_PROCESS группы MESH задаёт номер MPI-процесса, в котором будет производиться расчёт для данной группы MESH. Имеет смысл только при

имеющейся аппаратной возможности многопоточного расчёта, а количество процессов будет находиться в пределах заданного в **Параметрах моделирования пожара** значения.

Параметры моделирования пожара

Сценарий 1

Очаг пожара	Области расчета	Ветер
Общие	Начальные условия	Двери и окна

Время моделирования: 60 с

Количество процессов для моделирования в многопоточном режиме: 1

Рис. 3: Задание Количества процессов

Наружные грани области расчёта в FDS, по умолчанию, считаются «закрытыми», то есть непроницаемыми для воздуха и опасных факторов пожара. В свойствах Области расчёта можно указать, какие грани считать «открытыми». Через «открытые» грани воздух, дым и тепловое излучение могут беспрепятственно покидать Область расчёта. Для «открытых» граней в файл FDS добавляется код, подобный следующему:

```
&VENT XB=1, 1, 1, 7, 0, 3 SURF_ID='OPEN'/
```

Здесь параметр XB отвечает за координаты грани, которую необходимо сделать «открытой». Причём одна из пар координат должна быть тождественной, поскольку грань является плоской. Параметр SURF_ID, имеющий значение 'OPEN', указывает на то, что грань будет покрыта поверхностью, обладающей свойствами открытого пространства.

Если на сцене расположено несколько областей расчета, которые соприкасаются друг с другом, то не имеет значения, закрыты или открыты их границы в месте соприкосновения. В любом случае, в месте соприкосновения опасные факторы пожара будут распространяться беспрепятственно.

2.2. Размеры Области расчёта и Размер ячейки

Длина и ширина Области расчета определяются пользователем в момент размещения области расчета на сцене. Высота Области расчёта определяется элементами, расположенными на этаже и учитываемыми при моделировании пожара (отключено свойство **При пожаре не учитывать**), контур которых находится внутри или пересекается с контуром Области расчета так, чтобы все элементы полностью в неё попадали.

Высота Области расчета не может быть меньше высоты этажа, на котором она расположена.

В Fenix+ 3 размеры ячеек по осям X и Y всегда одинаковые и равны величине, указанной при создании Области расчёта. Количество ячеек вдоль осей X и Y определяется делением размеров Области расчёта на размер ячейки.

Количество ячеек по оси Z определяется следующим образом. Высота Области расчёта делится на размер ячейки по горизонтали. Полученное число округляется до ближайшего целого, и считается количеством ячеек по вертикали.

2.3. Размещение нескольких Областей расчёта

На одном этаже можно разместить несколько Областей расчета. Их размеры и другие параметры (размер ячейки, состояние открытых граней) могут быть разными. Расположение областей расчета друг относительно друга может быть произвольным: они могут пересекаться, касаться или вообще не иметь общих точек.

FDS предъявляет достаточно много требований к группам MESH и к их взаимному расположению.

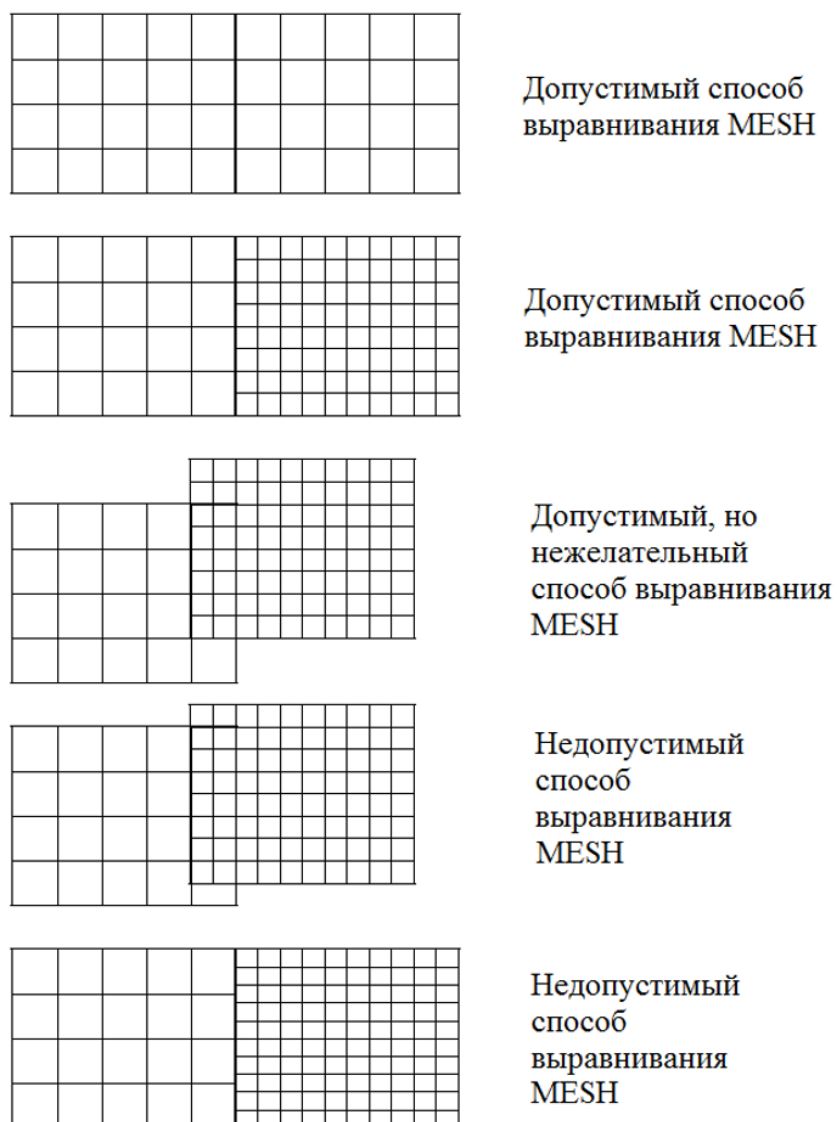


Рис. 4: Выравнивание MESH

2.4. Преобразование Областей расчёта

По умолчанию, Fenix+ 3 преобразует Области расчета в группы MESH таким образом, чтобы выполнить все требования FDS (когда установлен флажок для параметра **Автоматически корректировать области расчета**).

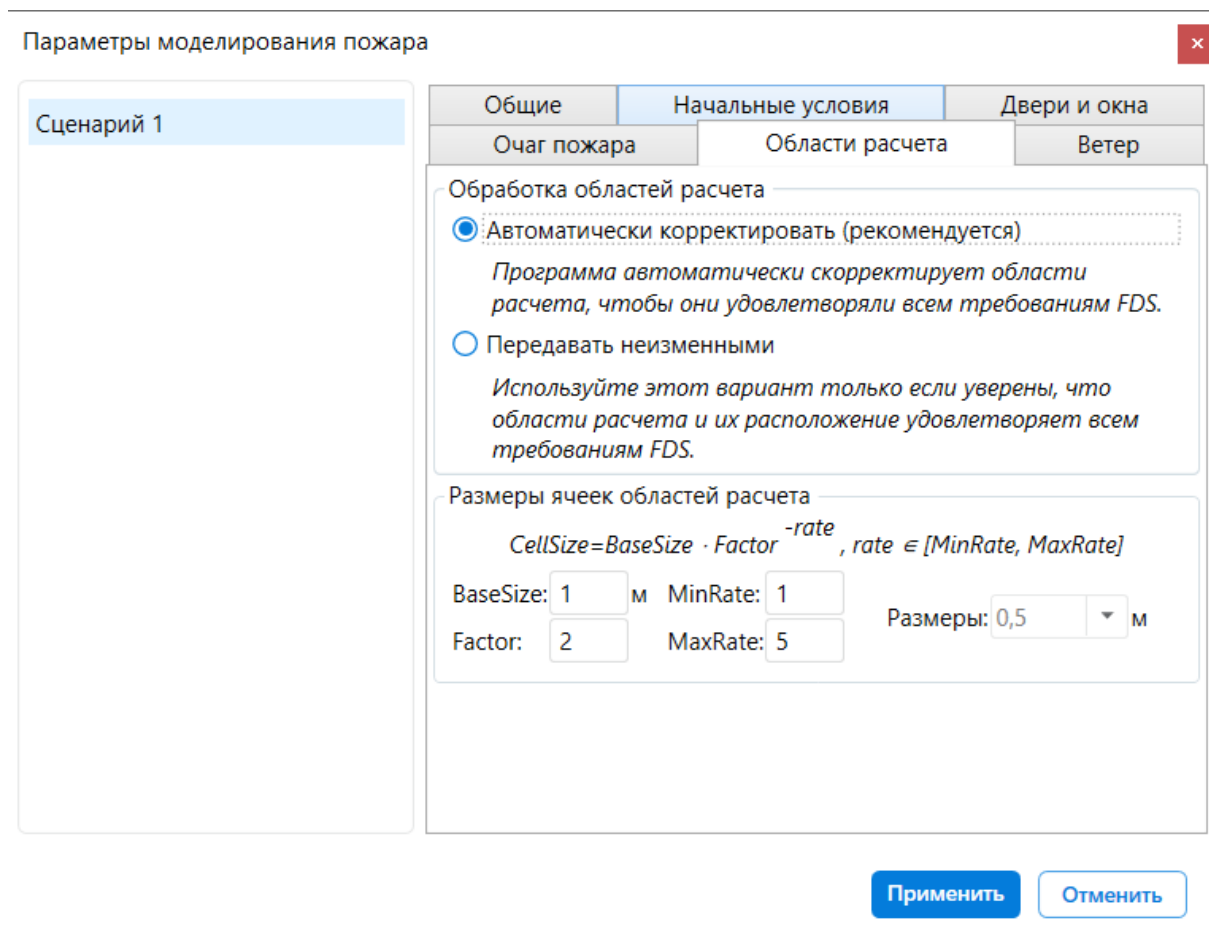


Рис. 5: Автоматически корректировать области расчета

Преобразование Областей расчета в Сетки состоит из следующих основных этапов:

- 1) “Объединение”. Все области расчета с ячейкой одного размера по возможности объединяются в более крупные области. При этом:
 - устраняются пересечения областей расчета. Если пересекаются области с разными размерами ячейки, то из области с крупным размером ячейки исключается пересечение с областью расчета с мелким размером ячейки, а оставшаяся часть разбивается на несколько прямоугольных областей.
 - увеличиваются области расчета в направлениях, где количество ячеек меньше 3.
- 2) “Разбиение”. Если количество потоков, которое пользователь хочет использовать для моделирования, больше количества получившихся на первом этапе областей, то те из них, в которых больше всего ячеек, разбиваются пополам в направлении с наибольшим количеством ячеек. Разбиение прерывается, если:
 - количество имеющихся областей равно или больше желаемого количества потоков.

- границы областей, которые получились бы при разбиении самой крупной области, попадают на одну из групп VENT во входном файле FDS (группы VENT располагаются в месте расположения очага пожара или клапана дымоудаления)
- больше нет MESH, которые можно разбить. После этого этапа получаются области, полностью соответствующие сеткам во входном файле FDS. Так как разбиение может прерваться, то количество сеток может быть меньше желаемого количества потоков.

3) “Балансировка”. Всем получившимся сеткам назначается MPI процесс, который будет их обрабатывать. Для этого:

- выбирается самая крупная сетка, которой ещё не назначен MPI процесс.
- выбирается MPI процесс, которому назначены для обработки сетки с наименьшим суммарным объемом.
- выбранной сетке назначается выбранный MPI процесс.

Если используется параметр **Передавать области расчета неизменными**, то первый этап обработки областей расчета (объединение в более крупные) не происходит. При необходимости выполняются только второй и третий этапы.

В этом случае получившиеся группы MESH будут полностью соответствовать по расположению оригинальным областям расчета. При этом высота областей расчета будет приниматься равной высоте этажа, на котором они находятся.

2.5. Коррекция размера Областей расчёта по оси Z

При размещении на сцене нескольких областей расчета их размеры и расположения могут выравниваться вдоль оси Z. Это происходит только в том случае, если расположение областей расчета и размеры их ячеек таковы, что могут привести к возникновению недопустимой конфигурации групп MESH во входном файле FDS.

Выравнивание по оси Z не требуется, если размеры ячеек по оси Z двух пересекающихся Областей расчёта кратны друг другу, и в трёх указанных на рис. областях (А, В, С) уместается целое число ячеек.

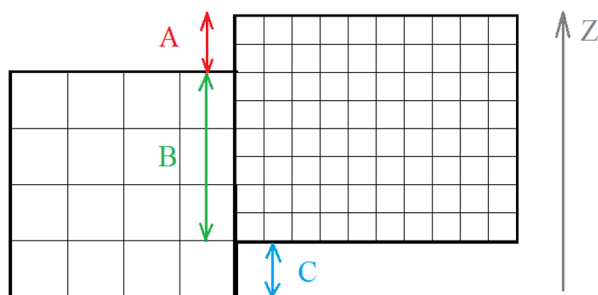


Рис. 6: Правильно выровненные по оси Z MESH

В противном случае, высота обеих Областей расчёта будет увеличена до величины, кратной параметру BaseSize, а размер ячейки по вертикали в каждой Области расчёта станет таким же, как по горизонтали.

2.6. Устранение пересечения областей

Если имеется пересечение Областей расчёта, то устранение пересечения выполняется разбиением соответствующих областей на, как правило, большее количество групп MESH так, чтобы среди них не было взаимно пересекающихся.

Пусть, например, имеются две пересекающиеся области с разным размером ячеек.

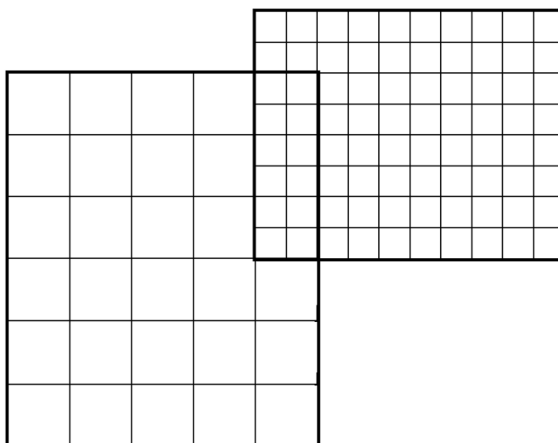


Рис. 7: Две пересекающиеся Области расчёта

В области пересечения из двух вариантов будет выбран меньший размер ячейки. После этого, посредством поиска оптимального разбиения с помощью оптимизационной процедуры, Области расчёта будут представлены с помощью нескольких **непересекающихся** MESH таким образом, чтобы площадь соприкосновения между MESH была наименьшей.

Минимизация площади соприкосновения MESH требуется для ускорения расчёта.

Возможный результат разбиения на три MESH показан на рис. с помощью областей разного цвета.

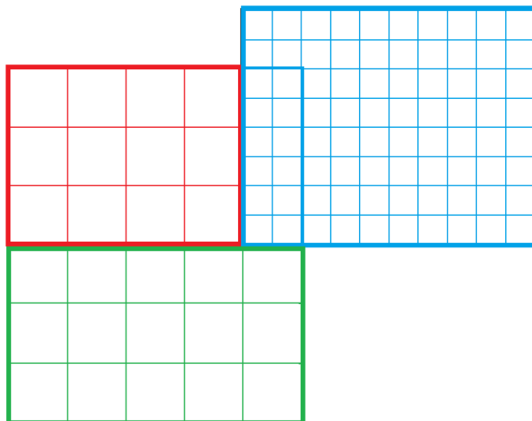


Рис. 8: Три непересекающиеся MESH

2.7. Пример устранения пересечения

Рассмотрим пример сценария, где кроме помещения с очагом пожара размещены две пересекающиеся Области расчёта с разным размером ячеек. Причём некоторые элементы сцены вообще не охвачены Областями расчёта.

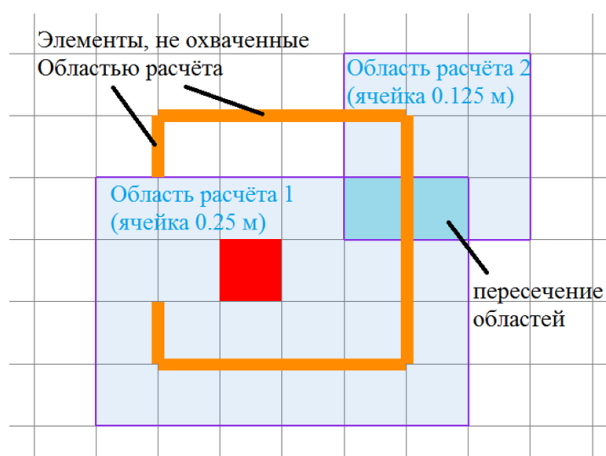


Рис. 9: Две пересекающиеся области расчёта

Для избежания пересечения MESH, две Области расчёта были представлены в файле FDS с помощью трёх элементов MESH.

```
&MESH IJK=16,16,12 XB=1,5,1,5,0,3 MPI_PROCESS=0/
```

```
&MESH IJK=8,12,12 XB=5,7,1,4,0,3 MPI_PROCESS=0/
```

```
&MESH IJK=24,24,24 XB=5,8,4,7,0,3 MPI_PROCESS=0/
```

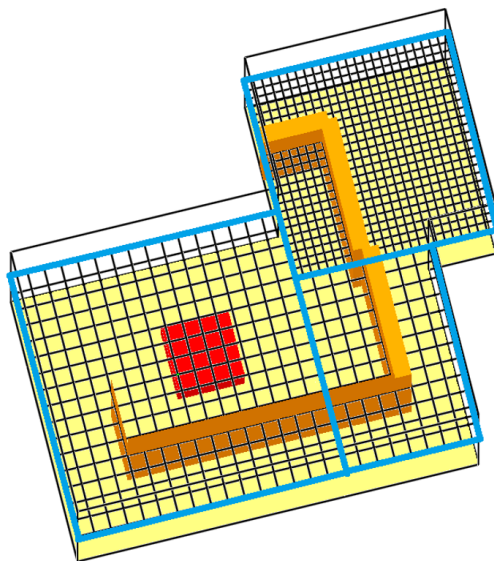
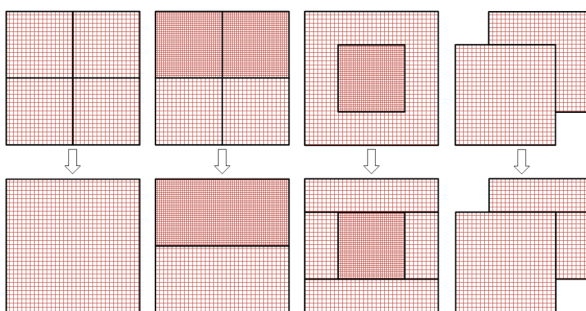


Рис. 10: Три MESH (вид в Smokeview)

2.8. Примеры преобразования областей расчёта

В примерах ниже предполагается, что в сценарии области расчета с размерами ячейки, отличающимися в два раза.

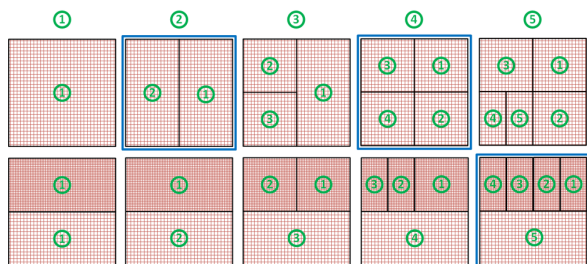
На примерах ниже показан результат выполнения этапа “Объединение” при формировании групп MESH для различных взаимных расположений областей расчета.



На следующих примерах показан результат выполнения этапов “Разбиение” и “Балансировка” для различного количества потоков моделирования (число сверху) в случае, если количество сеток после этапа “Разбиение” не превышает количество потоков.

Над каждой сеткой показан номер MPI процесса, который назначен для обработки этой сетки.

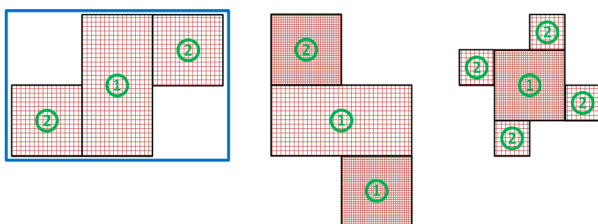
Синим квадратом обведены наиболее сбалансированные случаи, когда каждый MPI поток обрабатывает сетки одинакового размера (с одинаковым количеством ячеек).



На следующих примерах показан результат выполнения этапа “Балансировка” для 2-х потоков моделирования в случае, когда количество сеток после этапа “Разбиение” превышает количество потоков.

Над каждой сеткой показан номер MPI процесса, который назначен для обработки этой сетки.

Синим квадратом обведены наиболее сбалансированные случаи, когда каждый MPI поток обрабатывает сетки одинакового размера (с одинаковым количеством ячеек).



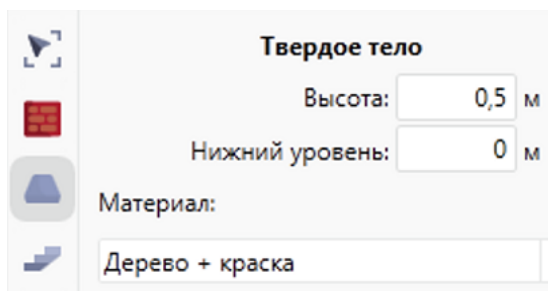
На всех примерах выше алгоритм формирования сеток показан в двумерном случае. Но, следует иметь в виду, что во всех трех направлениях алгоритм работает одинаково.

2.9. Очаг пожара

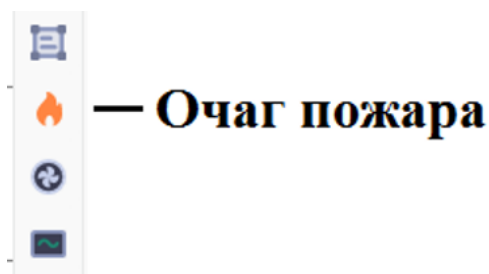
Очаг пожара в Fenix+ 3 может быть создан несколькими способами.

2.10. Элемент «Очаг пожара»

Первый способ создать очаг – разместить в сценарии объект с горизонтальной верхней поверхностью (**Стена, Твердое тело, Площадка, Перекрытие**), выполненный из горючего **Материала**,



а потом разместить на этом объекте элемент **«Очаг пожара»**.



При этом объект из горючего материала может иметь произвольную форму, а элемент «Очаг пожара», размещённый на нём, всегда будет прямоугольным. Это связано с тем, что группа параметров VENT во входном файле FDS, которую Fenix+ 3 использует для моделирования очага пожара, подразумевает прямоугольную форму. Размер прямоугольного очага может быть произвольным, но не более, чем максимальный прямоугольник, вписанный в контуры объекта, на котором размещён очаг.

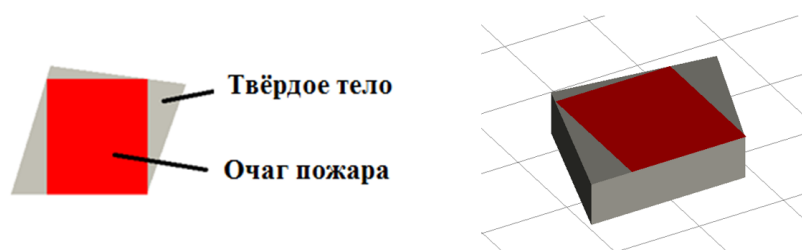


Рис. 11: Элемент «Очаг пожара» на элементе «Твёрдое тело»

Очаг пожара в Fenix+ 3 характеризуется следующими тепловыми параметрами, которые вычисляются из свойств материала и площади очага:

- удельная мощность (кВт/м²);
- максимальная мощность (кВт), - мощность, равная произведению удельной мощности на площадь горизонтальной части очага пожара. Если включена опция «Распространение пламени на боковые поверхности», то здесь при расчёте максимальной мощности боковые поверхности не учитываются.

Имя	Очаг пожара 1
Удельная мощность	178,374
Максимальная мощность	620,450
Скорость распространения	0,0045
Площадь	3,478
Время начала	0,00
Время окончания	бесконечность
С подписью	<input type="checkbox"/>
Указать максимальную площадь горения	<input type="checkbox"/>

Рис. 12: Свойства очага пожара

Удельная мощность определяется как произведение **низшей теплоты сгорания, удельной массовой скорости выгорания и коэффициента полноты сгорания**, характеризующие материал объекта, на котором расположен элемент «Очаг пожара». Эти свойства материала задаются на вкладке **Пожароопасные свойства** в **Редакторе веществ и материалов**.

Рис. 13: Редактор веществ и материалов

В свойствах элемента «Очаг пожара» также можно задать моменты **времени начала** и **окончания** его работы (горения).

Если опция «Указать максимальную площадь горения» выключена, то огонь будет распространяться из центральной точки очага пожара со скоростью, равной **линейной скорости распространения пламени**, указанной в **редакторе веществ и материалов** для материала, из которого выполнен объект, на котором расположен элемент «Очаг пожара».

Если линейная скорость распространения пламени указана равной нулю, то очаг пожара начнёт гореть сразу по всей площади, и достигнет максимальной мощно-

сти горения за несколько секунд (см. ниже). Нулевая скорость распространения пламени в Редакторе веществ и материалов по умолчанию установлена для жидких горючих веществ.

Во входной файл FDS для очага пожара, разгорающегося с конечной скоростью, попадёт код, подобный следующему:

```
&SURF ID='SURF_1' HRRPUA=180.792 COLOR='RED' RAMP_Q='RAMP_1'
```

```
&RAMP ID='RAMP_1' T=0 F=0/
```

```
&RAMP ID='RAMP_1' T=0.5 F=1/
```

```
&VENT XB= -1.5, 0, 1.5, 3.25, 0.5, 0.5 SURF_ID='SURF_1' SPREAD_RATE=0.0154
```

```
XYZ= 0.625, 2.375, 0.5 CTRL_ID='CTRL_2'
```

```
&CTRL ID='CTRL_2' FUNCTION_TYPE='CUSTOM' INPUT_ID(1:1)='CLOCK' RAMP_ID='RAMP
```

```
&RAMP ID='RAMP_2' T=29 F=-1/
```

```
&RAMP ID='RAMP_2' T=31 F=1/
```

```
&RAMP ID='RAMP_2' T=599 F=1/
```

```
&RAMP ID='RAMP_2' T=601 F=-1/
```

Здесь параметр HRRPUA группы SURF отвечает за удельную мощность очага, параметр SPREAD_RATE группы VENT – за линейную скорость распространения, а XYZ – начальная точка горения, лежащая в плоскости элемента VENT, и находящаяся в центре грани ячейки расчетной сетки ближайшей к геометрическому центру VENT.



Рис. 14: Расположение начальной точки горения на VENT

Параметры группы CTRL и RAMP отвечают за управление временем начала и окончания горения, которые в данном случае соответствует 30-й и 600-й секундам.

Если линейная скорость распространения пламени равна нулю, то в группе VENT параметры SPREAD_RATE и XYZ будут отсутствовать.

Параметр RAMP_Q группы SURF отвечает за возможность изменять мощность очага в течение времени моделирования. Данный параметр используется как для получения нужного закона увеличения мощности очага (см. раздел **Свойство «Указать максимальную площадь горения»**), так и для уменьшения скорости выгорания после срабатывания пожарной сигнализации (см. раздел **Опция «Уменьшение скорости выгорания в два раза»**).

У всех очагов пожара параметр RAMP_Q связывается с группой RAMP. Для рассматриваемого очага пожара в неё внесено две записи, которые определяют плавное «включение» очага в течение 0.5 с.

```
&RAMP ID='RAMP_1' T=0 F=0/
```

```
&RAMP ID='RAMP_1' T=0.5 F=1/
```

Данные записи нужны, потому что группа RAMP, связанная с параметром RAMP_Q, не может быть пустой. Она может понадобиться, чтобы уменьшить мощность очага в два раза после начала работы АУПТ (см. далее).

Если линейная скорость распространения пламени равна нулю, то в группу RAMP, связанную с RAMP_Q, помещаются следующие записи

```
&RAMP ID='RAMP_1' T=0 F=0/
```

```
&RAMP ID='RAMP_1' T=5 F=1/
```

Эти записи обеспечивают плавное разгорание очага в течение пяти секунд от нулевой мощности до максимальной. Несмотря на то, что нулевая линейная скорость распространения пламени соответствует очагу пожара, который загорается сразу целиком и на полную мощность, промоделировать идеальное мгновенное разгорание невозможно. В частности, чем быстрее мы пытаемся «разжечь» очаг в FDS, тем больше в начале моделирования будет неустойчивость при решении уравнений, что приводит к излишне большому всплеску мощности горения в первые секунды моделирования. Для повышения устойчивости моделирования и корректности получаемых результатов разгорание таких очагов пожара затягивается на 5 секунд.

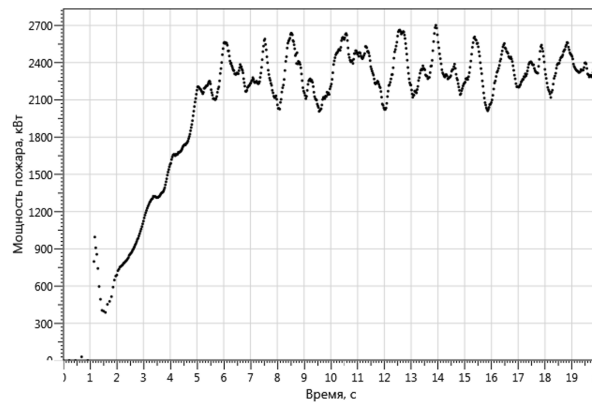


Рис. 15: График мощности очага с нулевой линейной скоростью пламени

На рис. показан график увеличения мощности горения с затягиванием разгорания на 5 секунд. Видно, что мощность увеличивается постепенно в течение пяти секунд, а также, что в первые секунды имеется всплеск мощности. Однако высота всплеска существенно меньше, чем итоговая мощность. Нарастание мощности без сильного всплеска нас устраивает.

Для сравнения ниже показан график мощности, который получился бы без задержки разгорания. Видно, что всплеск мощности в начале горения существенно превышает итоговую мощность горения, что может приводить к завышению оценки опасных факторов пожара. Например, такой всплеск мощности приведёт к всплеску величины теплового потока.

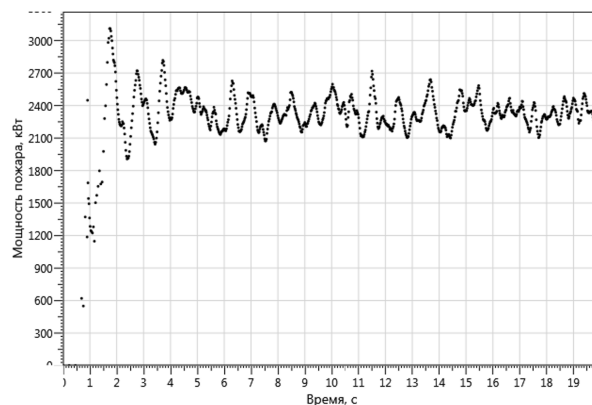


Рис. 16: График мощности очага с нулевой линейной скоростью пламени без затягивания разгорания

Заметим, что, если время моделирования будет менее 10 секунд, то время разгорания будет сокращено до половины времени моделирования. Однако при таком малом времени моделирования полученный результат может быть ненадёжным из-за неустойчивости вычислений, связанной со слишком быстрым разгоранием очага пожара.

2.11. Дополнительные настройки очага пожара

В окне **Параметры моделирования пожара** можно указать дополнительные настройки очага пожара:

- 1) Уменьшать скорость выгорания в два раза;
- 2) Распространение пламени на боковые поверхности.

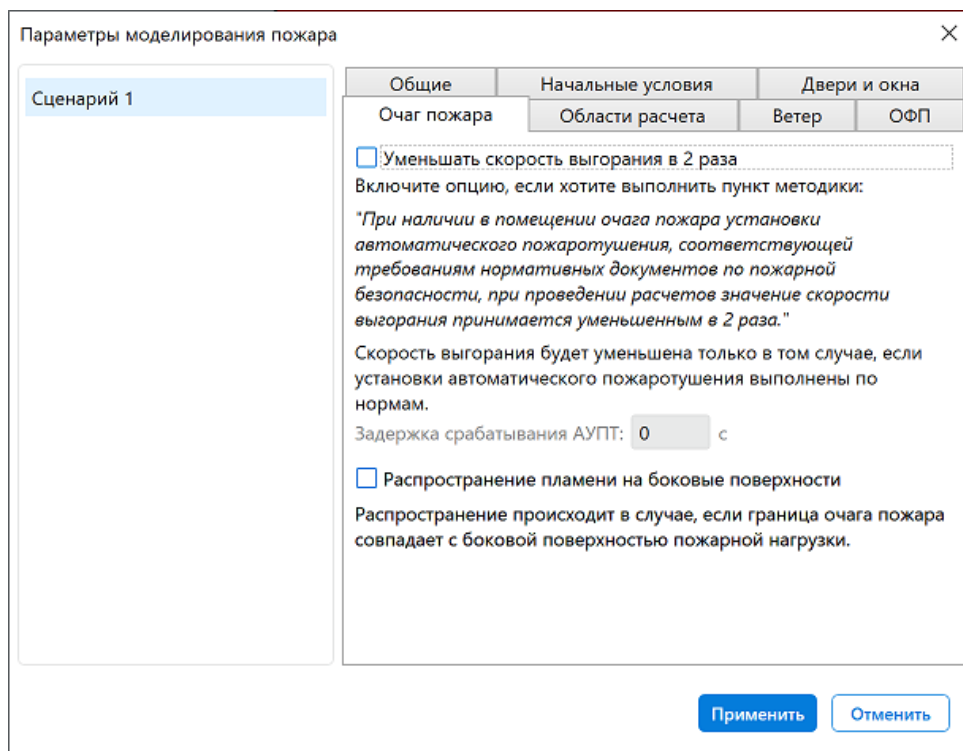


Рис. 17: Параметры моделирования пожара

2.11.1. Опция «Уменьшать скорость выгорания в два раза»

Возможность уменьшить скорость выгорания в два раза сработает, если автоматические установки пожаротушения (АУПТ) выполнены по нормам.

Для проекта типа **Гражданский объект** информация об АУПТ указывается в свойствах **Здания**.

Свойства здания

Название: Здание 1

Наименование: Нет информации

Класс функциональной пожарной опасности: Нет информации

Автоматические установки пожаротушения: Нет информации

Автоматические установки пожарной сигнализации: Нет информации

Системы оповещения и управления эвакуацией: Нет информации

Системы противодымной защиты: Нет информации

Дислокация подразделений пожарной охраны: Нет информации

Оснащение первичными средствами пожаротушения: Нет информации

Устройство аварийных выходов: Нет информации

Соответствие путей эвакуации: Нет информации

Время нахождения людей в здании: 12 ч

☐ Учитывать время начала эвакуации: 0 с

Количество людей: 0

Применить Отмена

Рис. 18: Свойства здания

Для проекта типа **Производственный объект** информация об АУПТ указывается для **Помещения** в окне **Экспликация помещений**.

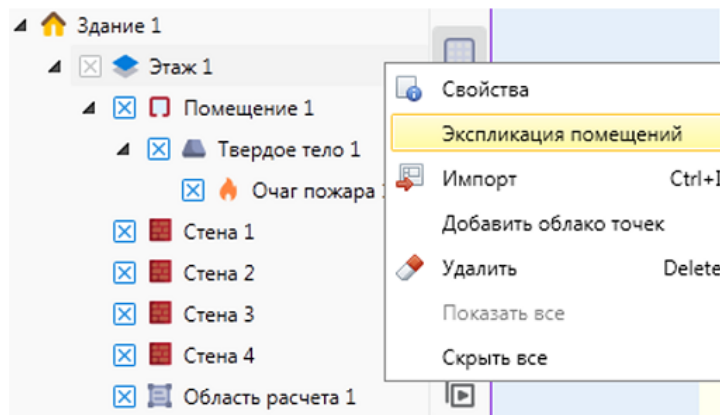


Рис. 19: Меню «Экспликация помещений»

Причём должна быть указана соответствующая нормам АУП, разумеется, при её наличии.

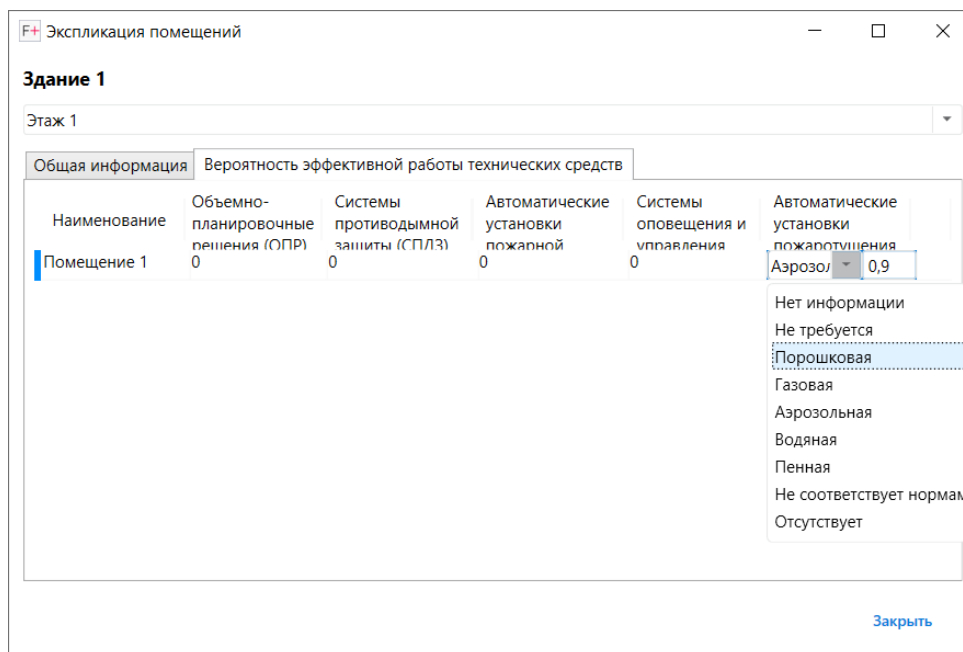


Рис. 20: Указание автоматической установки пожаротушения

Уменьшение скорости выгорания в два раза при расчёте пожарного риска происходит только после срабатывания системы пожаротушения. Как изменение скорости выгорания отразится на описании очага пожара в файле FDS, описано в разделе **Уменьшение скорости выгорания в два раза**.

2.11.2. Опция «Распространение пламени на боковые поверхности»

Нужно учитывать, что форма и размер элементов могут немного изменяться при формировании входного файла для FDS, поскольку любой объект в FDS должен иметь размеры, кратные размеру ячейки расчётной сетки. Очаг пожара в файле FDS представляется с помощью VENT. Объект VENT имеет прямоугольную форму и занимает целое число граней расчётной сетки. Элемент, на котором расположен очаг пожара, в файле FDS представляется с помощью объектов OBST, которые занимают целое число ячеек.

Размеры объектов в FDS зависят от исходных размеров элементов сценария, а также от размера ячейки расчётной сетки. В итоге, после преобразования элементов сценария в объекты FDS, очаг пожара и объект, на котором он размещён, могут иметь или не иметь общие границы.

Боковые поверхности очага пожара так же, как и его горизонтальная поверхность, представляются с помощью VENT, и появляются только на тех боковых гранях OBST, где граница горизонтального VENT совпадает с границей OBST, на которых она «лежит».

Рассмотрим «Очаг пожара», лежащий на «Твёрдом теле» непрямоугольной формы.

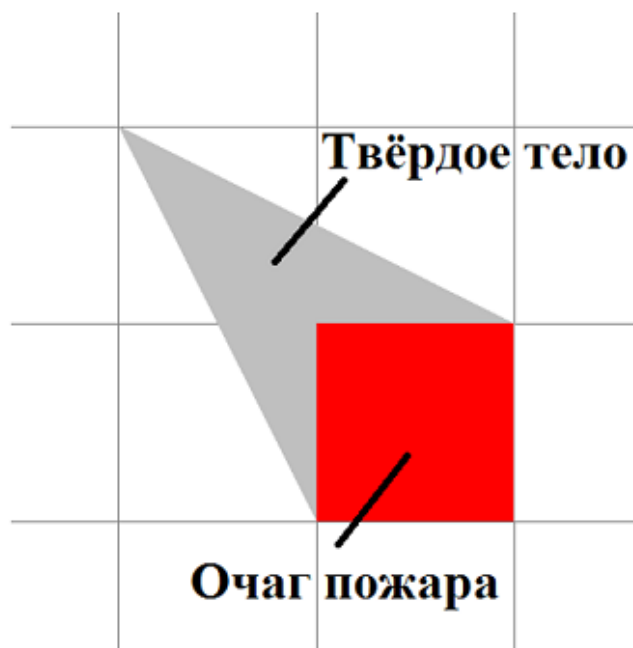


Рис. 21: Очаг пожара на непрямоугольном теле в Fenix+ 3

Ниже показано, как такой сценарий будет представлен в FDS. Боковые грани очага пожара появились только там, где граница горизонтального VENT совпадает с границей OBST.

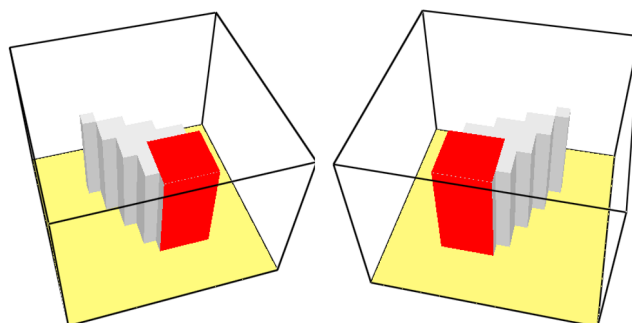


Рис. 22: Очаг пожара на непрямоугольном теле в FDS

Боковая грань очага пожара не появится также в том месте, где к объекту, на котором расположен очаг, примыкает другой объект, например, стена.

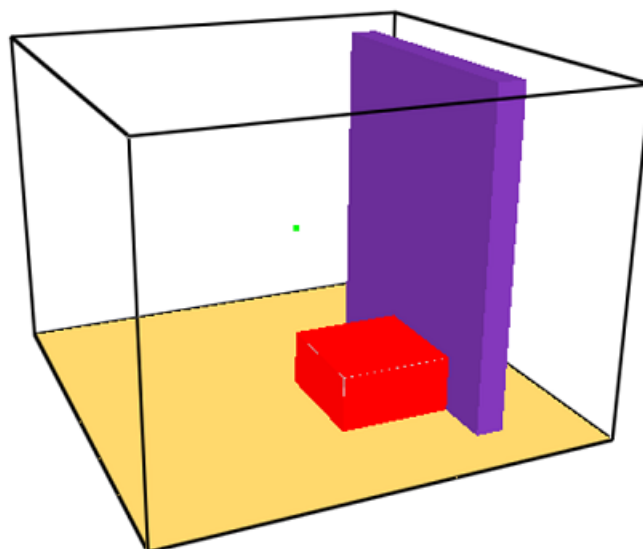


Рис. 23: Очаг с боковыми поверхностями и стена

Боковые поверхности загораются не одновременно с верхней поверхностью очага пожара. На рисунке ниже показана развёртка очага пожара, когда пламя может распространяться на боковые поверхности.

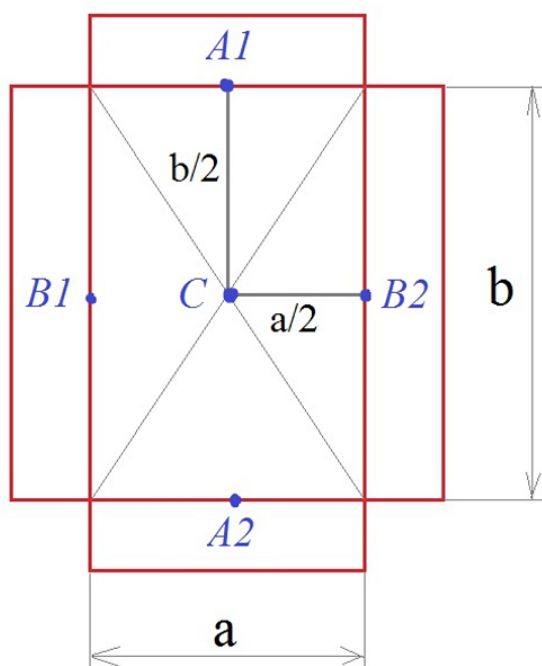


Рис. 24: Развёртка очага с боковыми гранями

Обозначим линейную скорость распространения пламени через V .

Изначально пламя распространяется из центра верхней грани (точка C) во все стороны. Через время $a/2/V$ пламя достигнет точек $B1$ и $B2$. В этот момент, по заложенной в Fenix+ 3 модели, начнётся горение двух соответствующих боковых граней из точек $B1$ и $B2$. Аналогично, через время $b/2/V$ пламя достигнет точек $A1$

и A2. В этот момент начнётся горение двух соответствующих боковых граней из точек A1 и A2.

Так же, как и верхней грани очага пожара, боковым граням в файле FDS соответствует группа параметров VENT. Линейная скорость (SPREAD_RATE) на боковых гранях такая же, как на верхней, а начальные точки (XYZ) соответствуют координатам точек A1, A2, B1 и B2. Времена начала горения в этих точках задержаны по отношению к началу горения точки C на величины, обоснованные выше.

Во входном файле FDS очаг пожара с боковыми гранями будет представлен подобным образом:

Общие настройки

“Zdanie 1” - “Tverdoe telo 1”

&OBST XB= -1.75, -0.5, 2.25, 3.5, 0, 0.5 RGB=191,191,191/

Ochag pozhara 1

&SURF ID='1' FYI='Ochag pozhara 1' HRRPUA=180.792 COLOR='RED'/

Верхняя грань

&VENT XB=-1.75,-0.5,2.25,3.5,0.5,0.5 SURF_ID='1' SPREAD_RATE=0.0154 XYZ= 1.125,2.875,0

&CTRL ID='2' FUNCTION_TYPE='CUSTOM' INPUT_ID(1:1)='CLOCK' RAMP_ID='3' LATCH=.Fa

&RAMP ID='3' FYI='Ochag pozhara 1' T=-1 F=-1/

&RAMP ID='3' FYI='Ochag pozhara 1' T=1 F=1/

Одна пара боковых граней

(Напомним, что если с одной стороны к твёрдому телу, на котором расположен очаг примыкает другой объект, то может быть только одна боковая грань. Также может не быть обеих боковых граней, если с двух сторон к очагу примыкают посторонние объекты)

&VENT XB=-1.75,-1.75,2.25,3.5,0,0.5 SURF_ID='1' SPREAD_RATE=0.0154 XYZ=-1.75,2.875,0

&VENT XB=-0.5,-0.5,2.25,3.5,0,0.5 SURF_ID='1' SPREAD_RATE=0.0154 XYZ=-0.5,2.875,0.25

&CTRL ID='4' FUNCTION_TYPE='CUSTOM' INPUT_ID(1:1)='CLOCK' RAMP_ID='5' LATCH=.Fa

&RAMP ID='5' FYI='Ochag pozhara 1 side X ramp' T=35.4 F=-1/

&RAMP ID='5' FYI='Ochag pozhara 1 side X ramp' T=37.4 F=1/

Фактически, боковые VENT появятся в момент времени 36.4 с.

Вторая пара боковых граней

&VENT XB=-1.75,-0.5,2.25,2.25,0,0.5 SURF_ID='1' SPREAD_RATE=0.0154 XYZ=-1.125,2.25,0

&VENT XB=-1.75,-0.5,3.5,3.5,0,0.5 SURF_ID='1' SPREAD_RATE=0.0154 XYZ=-1.125,3.5,0.25

&CTRL ID='6' FUNCTION_TYPE='CUSTOM' INPUT_ID(1:1)='CLOCK' RAMP_ID='7' LATCH=.F

&RAMP ID='7' FYI='Ochag pozhara 1 side Y ramp' T=41 F=-1/

&RAMP ID='7' FYI='Ochag pozhara 1 side Y ramp' T=43 F=1/

2.11.3. Свойство «Указать максимальную площадь горения»

Если у очага пожара активировано свойство «Указать максимальную площадь горения», то в поле «Максимальная площадь горения» можно задать максимальную площадь горения, отличающуюся от площади нарисованного очага.

● Очаг пожара (1)	
Имя	Очаг пожара 1
Удельная мощность	197,904
Максимальная мощность	197,904
Скорость распространения	0,0163
Площадь	1,000
Время начала	0,00
Время окончания	бесконечность
С подписью	<input type="checkbox"/>
Указать максимальную площадь горения	<input checked="" type="checkbox"/>
Максимальная площадь горения	20,000
Видимость	<input checked="" type="checkbox"/>

При этом очаг пожара будет гореть целиком, а не разгораться из точки. Мощность горения будет увеличиваться по квадратичному закону от нуля до максимального значения, которое бы имел очаг с площадью, указанной в поле «Максимальная площадь горения». Закон увеличения мощности будет соответствовать круговому распространению пожара с соответствующей выбранному материалу линейной скоростью распространения пламени. (Речь идёт о мощности горения при достаточной для горения концентрации кислорода.)

Зная линейную скорость распространения пламени (V), и максимальную площадь горения (S_{\max}), можно определить время, за которое пожар достигнет указанной площади при круговом распространении.

$$t_{\max} = (S_{\max}/\pi)^{1/2} / V$$

Во входном файле FDS квадратичный закон изменения мощности очага пожара задаётся посредством свойства RAMP_Q группы параметров SURF:

```
&SURF ID='SURF_1' HRRPUA=356.748 COLOR='RED' RAMP_Q='RAMP_1'/
&RAMP ID='RAMP_1' T=0 F=0/
&RAMP ID='RAMP_1' T=7.68 F=0.001875/
&RAMP ID='RAMP_1' T=15.36 F=0.0075/
&RAMP ID='RAMP_1' T=23.03 F=0.016875/
&RAMP ID='RAMP_1' T=30.71 F=0.03/
&RAMP ID='RAMP_1' T=38.39 F=0.046875/
&RAMP ID='RAMP_1' T=46.07 F=0.0675/
&RAMP ID='RAMP_1' T=53.74 F=0.091875/
&RAMP ID='RAMP_1' T=61.42 F=0.12/
&RAMP ID='RAMP_1' T=69.1 F=0.151875/
&RAMP ID='RAMP_1' T=76.78 F=0.1875/
&RAMP ID='RAMP_1' T=84.45 F=0.226875/
&RAMP ID='RAMP_1' T=92.13 F=0.27/
&RAMP ID='RAMP_1' T=99.81 F=0.316875/
&RAMP ID='RAMP_1' T=107.49 F=0.3675/
&RAMP ID='RAMP_1' T=115.16 F=0.421875/
&RAMP ID='RAMP_1' T=122.84 F=0.48/
&RAMP ID='RAMP_1' T=130.52 F=0.541875/
&RAMP ID='RAMP_1' T=138.2 F=0.6075/
&RAMP ID='RAMP_1' T=145.88 F=0.676875/
&RAMP ID='RAMP_1' T=153.55 F=0.75/
&RAMP ID='RAMP_1' T=161.23 F=0.826875/
&RAMP ID='RAMP_1' T=168.91 F=0.9075/
&RAMP ID='RAMP_1' T=176.59 F=0.991875/
&RAMP ID='RAMP_1' T=177.31 F=1/
```

Здесь RAMP_Q задаёт значения коэффициента (F), на который будет умножена величина HRRPUA, в заданных временных точках (T), начиная с нулевого момента времени до момента, когда мощность очага станет максимальной. Между указанными в группе RAMP временными точками значение коэффициента интерполируется линейно. (В приведённом примере $t_{max} = 177.31$ с.)

Величина HRRPUA рассчитывается следующим образом.

Пусть: $HRRPUA_0$ - удельная мощность горения, которая соответствует используемому в очаге пожара материалу, и равная произведению Низшей теплоты сгорания, Удельной массовой скорости выгорания и Коэффициента полноты сгорания. Sфакт – фактическая площадь очага пожара. Smax – максимальная площадь горения, указанная в свойствах очага.

Тогда:

$$\text{HRRPUA} = \text{HRRPUA0} \cdot S_{\text{max}} / S_{\text{факт}}$$

Приведём для иллюстрации график нарастания мощности очага для очага пожара, выполненного из материала «Административное помещение», с фактической площадью $S_{\text{факт}} = 1 \text{ м}^2$, и с указанной площадью $S_{\text{max}} = 2 \text{ м}^2$.

$$\text{HRRPUA0} = 178.374 \text{ кВт/м}^2$$

$$\text{HRRPUA} = 356.748 \text{ кВт/м}^2$$

$$V = 0.0045 \text{ м/с.}$$

Видно квадратичное возрастание мощности вплоть до момента $t_{\text{max}} = 177.31 \text{ с.}$

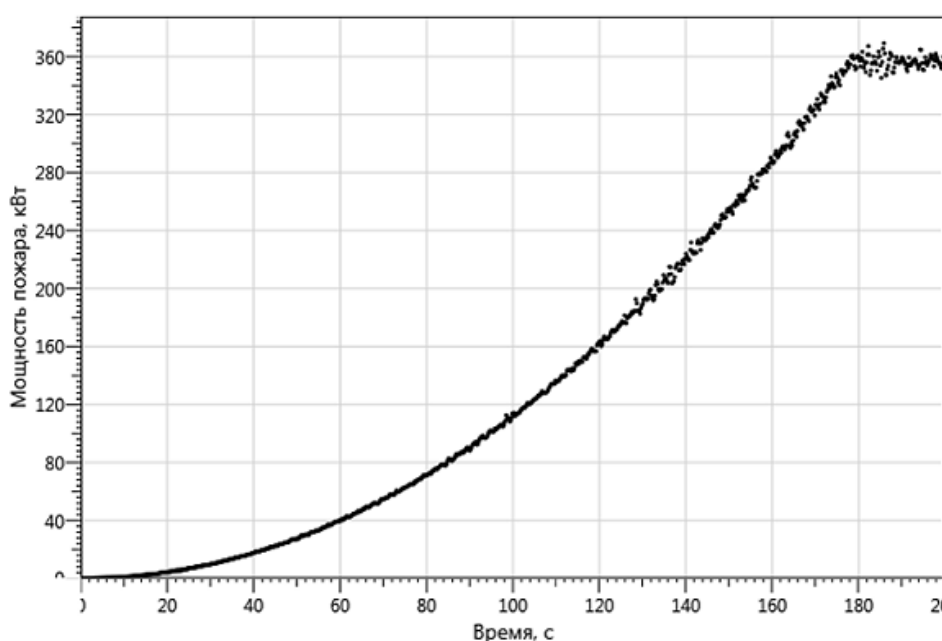


Рис. 25: Рост мощности очага пожара при круговом разгорании

Когда мощность горения достигает максимального значения, соответствующего «Максимальной площади горения», дальнейшее увеличение мощности прекращается и очаг продолжает гореть с фиксированной мощностью.

Если в **Параметрах моделирования пожара** активировано свойство «Распространение пламени на боковые поверхности», то вместе с верхней поверхностью очага будут гореть и боковые грани, но описанный выше закон увеличения мощности горения очага (в сумме по всем граням) сохранится.

2.11.3.1. Специфика использования свойства «Указать максимальную площадь горения» При использовании свойства «Указать максимальную площадь горения» нужно учитывать следующую специфику. Данное свойство чаще всего используется для моделирования пожара, максимальная площадь которого в

несколько раз превышает площадь помещения. Однако это не значит, что нужно обязательно стремиться разместить в помещении элемент Очаг пожара, который занимает всю площадь пола помещения.

Если в помещении есть люди, то очаг нужно сделать меньше, чем площадь помещения, чтобы люди тоже убрались. Людей вплотную к очагу ставить не нужно, иначе они могут сразу оказаться заблокированными, ведь очаг с включённым свойством «Указать максимальную площадь горения» горит по всей площади. И хотя мощность горения в начале может быть и небольшой, но при размещении регистратора вплотную к очагу, он может зафиксировать превышение опасных факторов очень быстро. Что может не соответствовать ситуации, которую нужно промоделировать.

Прижимать такой очаг к дверям также не нужно, иначе он быстро заблокирует выход.

Очаг с включённым свойством «Указать максимальную площадь горения», строго говоря, не предназначен для детального моделирования распространения ОФП внутри помещения с очагом пожара. Он просто даёт закон изменения мощности в соответствии с круговым распространением на любую заданную площадь.

Однако если разместить очаг там, где в помещении можно ожидать начало пожара, то и распространение ОФП по помещению в начале тоже будет более-менее правильным. Кроме, может быть, области совсем близкой к очагу пожара.

Если место расположения очага в помещении заранее не известно, то имеет смысл выбрать размер и положение очага так, чтобы он не мешал наличию людей в помещении и не находился совсем рядом с дверями.

По возможности, размер очага нужно выбрать максимально возможным, но так, чтобы это не противоречило указанным выше ограничениям.

2.11.4. Свойство «В огне»

У элементов сценария Fenix+ 3, имеющих свойство «Материал», в случае, если материал горючий, доступно свойство **«В огне»**.

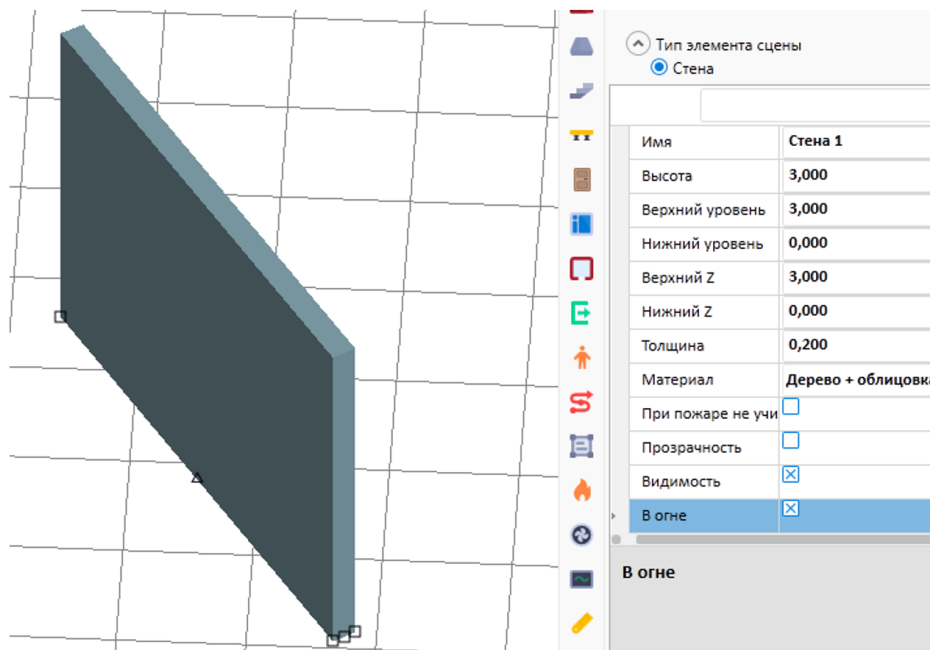


Рис. 26: Элемент «стена» с активированным свойством «в огне»

Активация свойства «В огне» приведёт к тому, что при моделировании элемент будет покрыт поверхностью (группа SURF) с удельной мощностью горения (параметр HRRPUA), равной удельной мощности горения выбранного материала.

Элемент будет охвачен пламенем по всей площади. Чтобы снизить влияние неустойчивости моделирования, возникающей при слишком быстром разгорании пожара, о которой уже упоминалось в разделе **Элемент «Очаг пожара»**, разгорание элементов «В огне» затянута на 10 секунд. Так же, как и в случае элемента «Очаг пожара», закон разгорания задаётся посредством параметра RAMP_Q группы параметров SURF.

```
&MATL ID='1' FYI='Derevo + oblicovka' CONDUCTIVITY=1 DENSITY=1000 HEAT_OF_COMBU
```

```
&SURF ID='2' HRRPUA=180.792 THICKNESS=0.2 RGB=193,191,180 MATL_ID='1'/
```

```
&OBST XB=0.75,0.75,1,1.25,0,3 SURF_ID='2'/
```

```
&RAMP ID='RAMP_1' T=0 F=0/
```

```
&RAMP ID='RAMP_1' T=10 F=1/
```

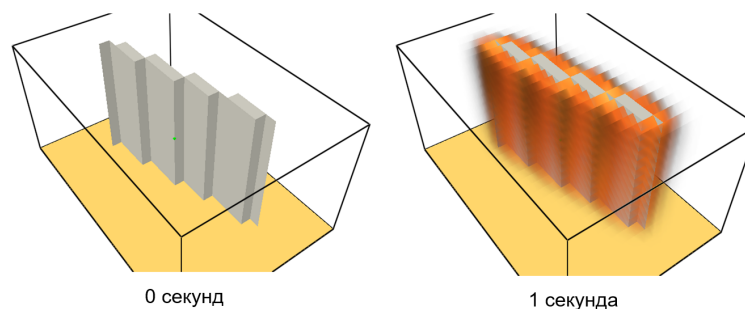


Рис. 27: Мгновенный охват элемента пламенем

Заметим, что, если время моделирования будет менее 20 секунд, то время разгорания будет сокращено до половины времени моделирования. Однако при малом времени моделирования полученный результат может быть ненадёжным из-за неустойчивости вычислений, связанной со слишком быстрым разгоранием очага пожара.

Создание очага пожара посредством свойства «В огне» может применяться в случаях, когда не требуется моделировать длительное разгорание. То есть в случаях, когда элемент охватывается пламенем быстро, а также, когда результаты моделирования до момента полного разгорания элемента не интересны. Вторым случаем типичен при измерении теплового потока, падающего на здание, при пожаре в соседнем здании.

2.11.5. Уменьшение скорости выгорания в два раза

При расчёте пожарного риска после срабатывания пожарного извещателя происходит приостановка моделирования пожара, производится моделирование эвакуации, в файл `fds` вносятся необходимые изменения, и моделирование пожара продолжается.

В частности, если моделируемый сценарий предполагает уменьшение скорости выгорания в два раза после срабатывания системы пожаротушения (см. **Опция «Уменьшать скорость выгорания в два раза»**), то после срабатывания пожарного извещателя в файл `fds` вносятся изменения, отвечающие за изменение мощности очагов пожара. Задержка срабатывания АУПТ после срабатывания пожарной сигнализации задается на вкладке «Очаг пожара» Параметров моделирования пожара.

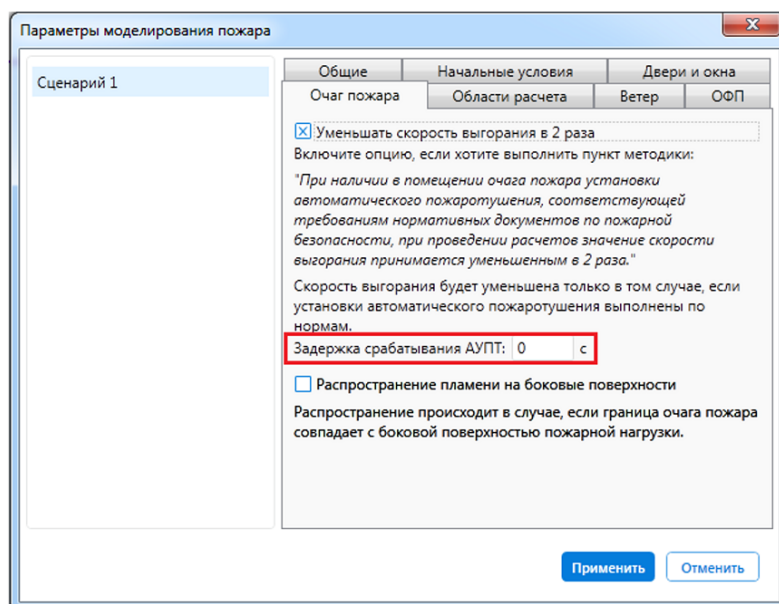


Рис. 28: Задержка срабатывания АУПТ

Уменьшение мощности очагов пожара при модификации файла `fds` производится посредством изменения групп параметров RAMP, связанных с RAMP_Q элементов «Очаг пожара» и элементов со свойством «В огне».

Рассмотрим несколько примеров:

а) Очаг пожара, разгорающийся ячейка-за-ячейкой.

Изначально в файле `fds` с параметром RAMP_Q была связана группа RAMP следующего вида

```
&SURF ID='SURF_1' HRRPUA=180.792 COLOR='RED' RAMP_Q='RAMP_1'/
&RAMP ID='RAMP_1' T=0 F=0/
&RAMP ID='RAMP_1' T=0.5 F=1/
```

После срабатывания пожарного извещателя группа RAMP модифицируется и принимает следующий вид:

```
&SURF ID='SURF_1' HRRPUA=180.792 COLOR='RED' RAMP_Q='RAMP_1'/
&RAMP ID='RAMP_1' T=0 F=0/
&RAMP ID='RAMP_1' T=0.5 F=0.5/
```

Новое значение $F=0.5$ окажется применённым к той части расчёта, которая будет проведена после срабатывания извещателя, поэтому мощность очага уменьшится с момента срабатывания извещателя. На рисунке ниже показаны два графика: синим цветом – мощность очага, какой она была бы без уменьшения, зелёным цветом – мощность, которая уменьшается в два раза, начиная с 37 й секунды, когда сработал извещатель.

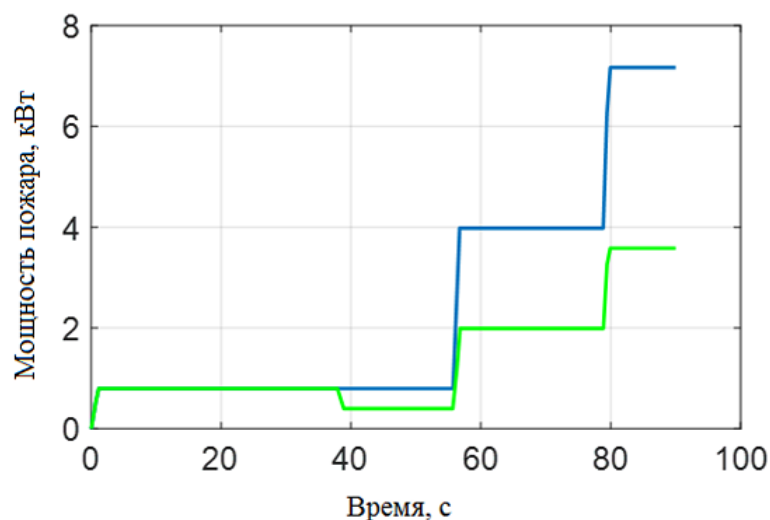


Рис. 29: Изменение мощности очага после срабатывания извещателя

Задержка срабатывания АУПТ для очагов, разгорающихся ячейка-за-ячейкой, не учитывается.

б) Очаг пожара, с заданной вручную площадью.

Изначально в файле fds с параметром RAMP_Q была связана группа RAMP следующего вида

```
&SURF ID='SURF_1' HRRPUA=356.748 COLOR='RED' RAMP_Q='RAMP_1'/
&RAMP ID='RAMP_1' T=0 F=0/
&RAMP ID='RAMP_1' T=7.68 F=0.001875/
&RAMP ID='RAMP_1' T=15.36 F=0.0075/
&RAMP ID='RAMP_1' T=23.03 F=0.016875/
&RAMP ID='RAMP_1' T=30.71 F=0.03/
&RAMP ID='RAMP_1' T=38.39 F=0.046875/
&RAMP ID='RAMP_1' T=46.07 F=0.0675/
&RAMP ID='RAMP_1' T=53.74 F=0.091875/
&RAMP ID='RAMP_1' T=61.42 F=0.12/
&RAMP ID='RAMP_1' T=69.1 F=0.151875/
&RAMP ID='RAMP_1' T=76.78 F=0.1875/
&RAMP ID='RAMP_1' T=84.45 F=0.226875/
&RAMP ID='RAMP_1' T=92.13 F=0.27/
&RAMP ID='RAMP_1' T=99.81 F=0.316875/
&RAMP ID='RAMP_1' T=107.49 F=0.3675/
&RAMP ID='RAMP_1' T=115.16 F=0.421875/
&RAMP ID='RAMP_1' T=122.84 F=0.48/
&RAMP ID='RAMP_1' T=130.52 F=0.541875/
&RAMP ID='RAMP_1' T=138.2 F=0.6075/
&RAMP ID='RAMP_1' T=145.88 F=0.676875/
```


&RAMP ID='RAMP_1' T=153.55 F=0.75/
&RAMP ID='RAMP_1' T=161.23 F=0.826875/
&RAMP ID='RAMP_1' T=168.91 F=0.9075/
&RAMP ID='RAMP_1' T=176.59 F=0.991875/
&RAMP ID='RAMP_1' T=177.31 F=1/

После срабатывания пожарного извещателя группа RAMP модифицируется и принимает следующий вид

&SURF ID='SURF_1' HRRPUA=356.748 COLOR='RED' RAMP_Q='RAMP_1'/
&RAMP ID='RAMP_1' T=0 F=0/
&RAMP ID='RAMP_1' T=7.68 F=0.001875/
&RAMP ID='RAMP_1' T=15.36 F=0.0075/
&RAMP ID='RAMP_1' T=23.03 F=0.016875/
&RAMP ID='RAMP_1' T=30.71 F=0.03/
&RAMP ID='RAMP_1' T=38.39 F=0.046875/
&RAMP ID='RAMP_1' T=46.07 F=0.0675/
&RAMP ID='RAMP_1' T=53.74 F=0.091875/
&RAMP ID='RAMP_1' T=61.42 F=0.12/
&RAMP ID='RAMP_1' T=69.1 F=0.151875/
&RAMP ID='RAMP_1' T=71.0103 F=0.160736254882812/
&RAMP ID='RAMP_1' T=72.0103 F=0.0803681274414062/
&RAMP ID='RAMP_1' T=76.78 F=0.09375/
&RAMP ID='RAMP_1' T=84.45 F=0.1134375/
&RAMP ID='RAMP_1' T=92.13 F=0.135/
&RAMP ID='RAMP_1' T=99.81 F=0.1584375/
&RAMP ID='RAMP_1' T=107.49 F=0.18375/
&RAMP ID='RAMP_1' T=115.16 F=0.2109375/
&RAMP ID='RAMP_1' T=122.84 F=0.24/
&RAMP ID='RAMP_1' T=130.52 F=0.2709375/
&RAMP ID='RAMP_1' T=138.2 F=0.30375/
&RAMP ID='RAMP_1' T=145.88 F=0.3384375/
&RAMP ID='RAMP_1' T=153.55 F=0.375/
&RAMP ID='RAMP_1' T=161.23 F=0.4134375/
&RAMP ID='RAMP_1' T=168.91 F=0.45375/
&RAMP ID='RAMP_1' T=176.59 F=0.4959375/
&RAMP ID='RAMP_1' T=177.31 F=0.5/

В момент 72 с мощность очага уменьшена в два раза. Это время учитывает задержку срабатывания АУПТ. Если в этот момент ещё не достигнута максимальная площадь горения, то дальнейший рост мощности продолжается, но уже с в два

раза меньшей скоростью. На рисунке ниже показан момент уменьшения мощности после срабатывании извещателя (и задержки срабатывания АУПТ) во время кругового разгорания.

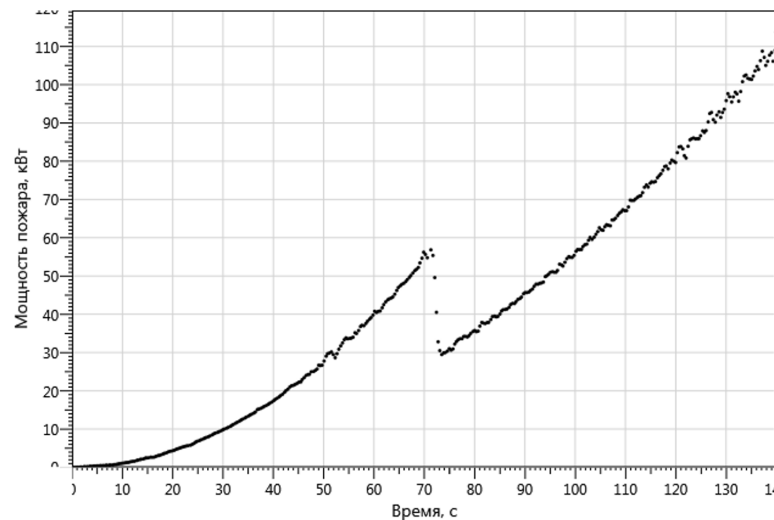


Рис. 30: Рост мощности очага пожара с учётом уменьшения после срабатывания АУПТ

в) Элемент со свойством «В огне».

Изначально в файле fds с параметром RAMP_Q была связана группа RAMP следующего вида:

```
&SURF ID='SURF_1' HRRPUA=178.374 THICKNESS=0.25 RGB=255,0,0 RAMP_Q='RAMP_1'/
&RAMP ID='RAMP_1' T=0 F=0/
&RAMP ID='RAMP_1' T=10 F=1/
```

После срабатывания пожарного извещателя группа RAMP модифицируется и принимает следующий вид:

```
&SURF ID='SURF_1' HRRPUA=178.374 THICKNESS=0.25 RGB=255,0,0 RAMP_Q='RAMP_1'/
&RAMP ID='RAMP_1' T=0 F=0/
&RAMP ID='RAMP_1' T=10 F=1/
&RAMP ID='RAMP_1' T=33.7443 F=1/
&RAMP ID='RAMP_1' T=34.7443 F=0.5/
```

Здесь мощность уменьшается в момент времени 33.7 с. Это время учитывает задержку срабатывания АУПТ. На рисунке показан график мощности. Первые десять секунд мощность нарастала линейно, как это принято для элементов «В огне», а после срабатывания извещателя (и задержки срабатывания АУПТ) уменьшилась в два раза.

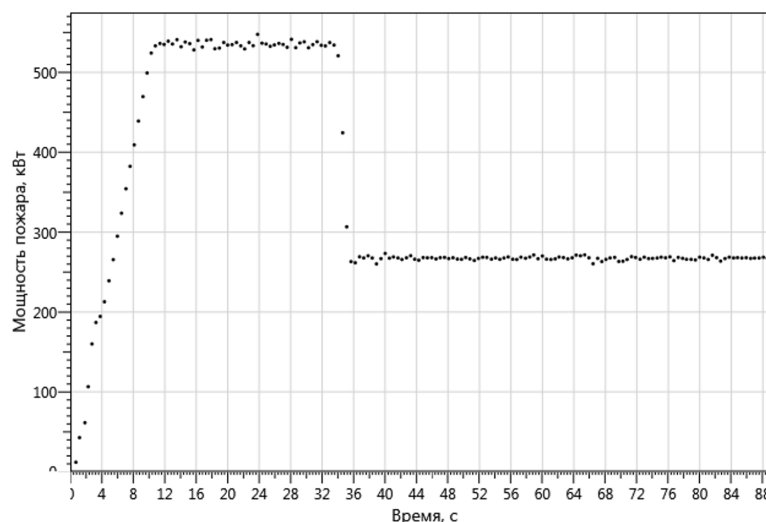


Рис. 31: Рост мощности элемента «В огне» с учётом уменьшения после срабатывания извещателя

2.11.6. Необходимое время моделирования

Время моделирования пожара должно определяться, в первую очередь, целями моделирования. В частности, оно может быть регламентировано нормативной документацией.

Однако стоит обратить внимание на то, что время моделирования не должно быть слишком маленьким. Как упоминалось в разделах **Элемент «Очаг пожара»** и **Свойство «В огне»**, при быстром увеличении мощности горения возникает неустойчивость моделирования, и могут возникать нереалистичные эффекты, например, значительные всплески мощности. Поэтому для очагов пожара с нулевой линейной скоростью распространения пламени и для элементов «В огне» введено искусственное замедление разгорания на 5 с и 10 с соответственно. Элементы «В огне», зачастую, используются при моделировании пожара с целью обоснования противопожарных расстояний, и имеют большие размеры и большую суммарную мощность горения. Поэтому для повышения устойчивости моделирования для них используется большее время замедления.

Смоделировать мгновенное разгорание невозможно. Наличие замедления при разгорании следует учитывать при выборе времени моделирования. Как было упомянуто в указанных разделах, время замедления разгорания будет не больше, чем половина указанного пользователем времени моделирования. Поэтому если время моделирования будет мало, то, формально, очаг достигнет ожидаемой мощности, но чем быстрее мы пытаемся разжечь очаг, тем больше будет в начале неустойчивость моделирования и всплеск мощности горения.

2.11.6.1. Время моделирования при обосновании противопожарных расстояний Если для моделирования горения используются элементы с активированной опцией «В огне», которые разгораются достаточно быстро, то для грубой оценки величины теплового потока достаточно времени моделирования в несколько десятков секунд. Выход мощности горения на стабильный уровень требует некоторого времени моделирования. **Не следует брать интервал времени менее 20 секунд даже для грубой предварительной оценки!**

Если учесть, что на величину теплового потока влияет и температура окружающих предметов, которые могут разогреваться в течение всей длительности пожара, то для более точной оценки теплового потока следует использовать большее время моделирования.

Время, через которое тепловой поток достигает стационарного значения, зависит от расположения объектов в конкретном сценарии, температуры окружающей среды, ветра и т.п. Нельзя назвать универсальную величину достаточного времени моделирования.

Например, можно использовать время начала тушения пожарными подразделениями.

Достаточность времени моделирования можно оценить по графикам теплового потока на интересующих исследователя элементах. На начальном этапе моделирования график всегда демонстрирует резкий рост. В дальнейшем, обычно, рост графика замедляется. Время моделирования можно признать достаточным, если за вторую половину времени моделирования произошло лишь незначительное увеличение плотности теплового потока по сравнению с величиной, достигнутой за первую половину времени моделирования. При этом, если достигнутое значение теплового потока близко к предельно допустимому значению, то время моделирования следует увеличить, и оценить дальнейшую динамику.

Стоит иметь в виду, что температура поверхностей обычно растёт в течение всего времени моделирования. Поэтому если целью моделирования является оценка величины нагрева конструкций при пожаре, то время моделирования нужно выбирать исходя из времени, в течение которого данные конструкции должны выдерживать нагрев.

2.11.7. Влияние размеров расчётного домена

Стоит иметь в виду, что горение за пределами расчётного домена (см. Область расчёта) не моделируется. Тепло, излучение и продукты горения, вышедшие за пределы расчётного домена, больше не оказывают никакого влияния на развитие пожара внутри расчётного домена. Поэтому располагать Очаги пожара и элементы со свойством «В огне» рядом с открытой границей расчётного домена не рекомендуется.

Особенно это относится к верхней границе расчётного домена. Горячие продукты горения и пламя поднимаются вверх. Если над очагом пожара располагается открытая граница расчётного домена, то высота столба дыма и пламени будет ограничена высотой домена. Существенное ограничение высоты факела пламени над Очагом пожара или элементом «В огне» может привести к неверным оценкам величины теплового потока или температуры.

Стоит обращать особенное внимание на высоту факела пламени, помещающуюся в расчётный домен, при выполнении расчётов по обоснованию противопожарных расстояний. Факел создаёт тепловое излучение, и чрезмерное ограничение его высоты при моделировании может привести к грубым ошибкам при оценке величины теплового потока, падающего на стены и окна защищаемого от пожара объекта. Данная проблема особенно актуальна в случае пожара на крыше, когда всё пламя находится вверху рассматриваемой сцены, и если высота расчётного домена не достаточна, то огонь будет покидать его, почти не оказывая влияния на результаты расчёта.

Запас высоты расчётного домена над горящим зданием при обосновании противопожарных расстояний должен составлять единицы или даже десятки метров, в зависимости от специфики конкретного объекта. Достаточный запас высоты или обосновывается теоретически, или путём моделирования показывается, что дальнейшее увеличение высоты расчётного домена не приводит к увеличению величины теплового потока.

2.12. Элементы со свойством «Материал»

Ряд элементов Fenix+ 3 имеет свойство «Материал». В их число входят: Стена, Твердое тело, Лестница (как прямая, так и винтовая), Площадка, Перекрытие, Дверь, Окно. Будем называть их **Материальными элементами**.

В общем случае, Материальный элемент занимает некоторый объём в пространстве.

Во входном файле FDS геометрическая форма Материальных элементов представляется набором элементов, описываемых группой параметров OBST. В простейшем случае, когда теплофизические параметры материалов при моделировании не учитываются, для представления Материальных элементов в файле FDS другие группы параметров (кроме OBST) не используются.

Каждый элемент OBST представляет собой прямоугольный параллелепипед с вершинами в узлах Сетки (см. **Область расчёта**). Его координаты задаются параметром XB. Размеры по каждой из трёх осей будут кратны размеру ячейки Сетки. В частном случае, размер вдоль одной из осей может быть равным нулю.

Цвет элемента, отображаемый в редакторе Fenix+ 3 и Smokeview, задаётся пара-

метром RGB группы OBST в формате яркости красной, зелёной и синей компонент.

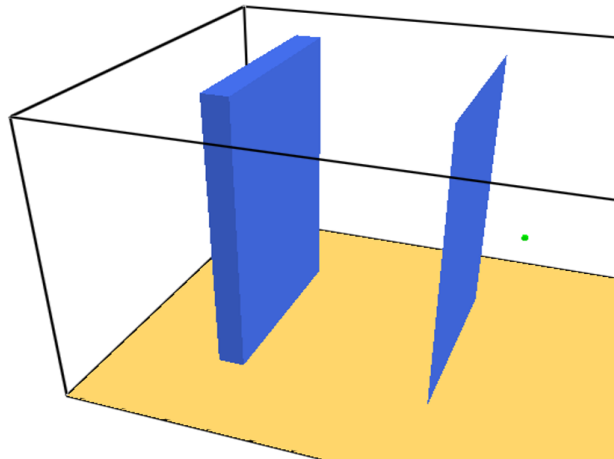


Рис. 32: OBST ненулевой и нулевой толщины (вид в Smokeview)

В FDS-файле появляется код, подобный следующему:

```
&OBST XB=-2 ,0, 1.5, 1.75, 0, 0.5 RGB=128,128,128 /
```

Отметим некоторые общие свойства Материальных элементов:

Параметры, задающие расположение элемента в пространстве (высота, толщина и т.п.);

«Материал»; «При пожаре не учитывать»; «Прозрачность».

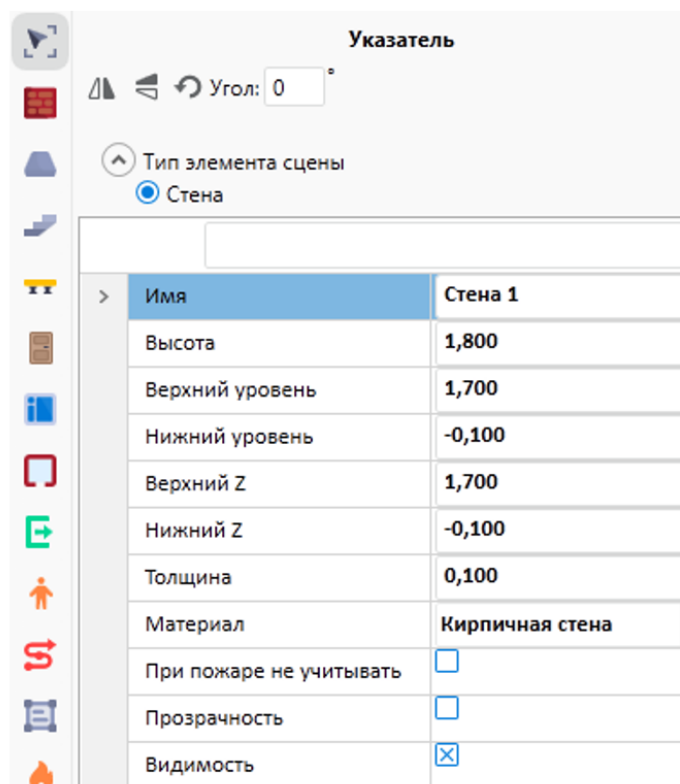


Рис. 33: Свойства элемента «Стена»

Свойство **При пожаре не учитывать** позволяет не учитывать элемент при моделировании пожара. Например, если это сетчатая конструкция, полностью проницаемая для опасных факторов пожара. Такой элемент не будет передан в файл FDS.

Свойство **Прозрачность** позволяет сделать элемент визуально прозрачным в редакторе Fenix+ 3 и в Smokeview. Это не сделает элемент прозрачным для теплового излучения или других опасных факторов пожара. В файле FDS в группу OBST будет добавлен параметр TRANSPARENCY.

&OBST XB=2.75,3,1.75,2,0,3.1 TRANSPARENCY=0.1 RGB=128,128,128/

2.13. Разбиение материальных элементов на OBST

При создании входного файла FDS, координаты элементов OBST, описывающих Материальный элемент, будут определены исходя из параметров элемента, задающих расположение элемента в пространстве. При этом координаты элементов OBST будут приравнены ближайшим величинам, кратным размеру ячейки Сетки (см. **Область расчёта**). Напомним, что размер ячейки по оси Z может отличаться от размера ячейки по осям X и Y.

Рассмотрим, как Материальному элементу сценария Fenix+ 3 ставятся в соответствие элементы OBST. Рассмотрим эту процедуру на примере преобразования элемента «Стена», имеющей форму прямоугольного параллелепипеда.

Поскольку каждый элемент OBST в модели FDS занимает целое число ячеек Сетки, боковые поверхности элементов OBST должны совпадать с гранями ячеек. На рис. показан вид сверху на элемент «Стена», боковые поверхности которого изображены синими линиями. Квадратная сетка чёрного цвета изображает границы ячеек в плоскости XY.

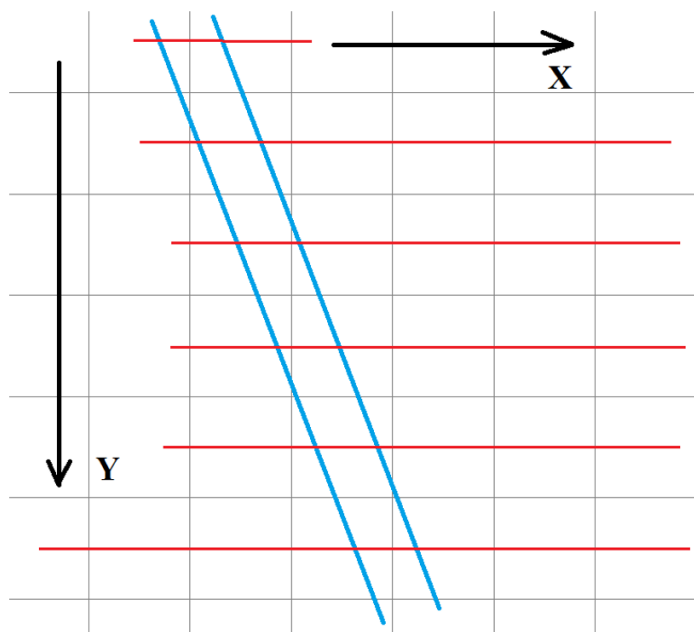


Рис. 34: Стена и ячейки MESH

Рассмотрим один слой ячеек в плоскости XY, самый нижний для данной MESH.

Через центр каждой ячейки проведём линию, параллельную оси X. Они показаны красным цветом. Если линия пересекает стену, то она пересекает обе боковые поверхности стены. Получаем две точки пересечения. Приравняем x координаты точек пересечения ближайшим x координатам граней ячеек MESH.

Возможны две ситуации: когда для точек пересечения ближайшими окажутся две разные грани, и когда одна грань. Частные случаи этих двух ситуаций показаны на рис. буквами А и В соответственно.

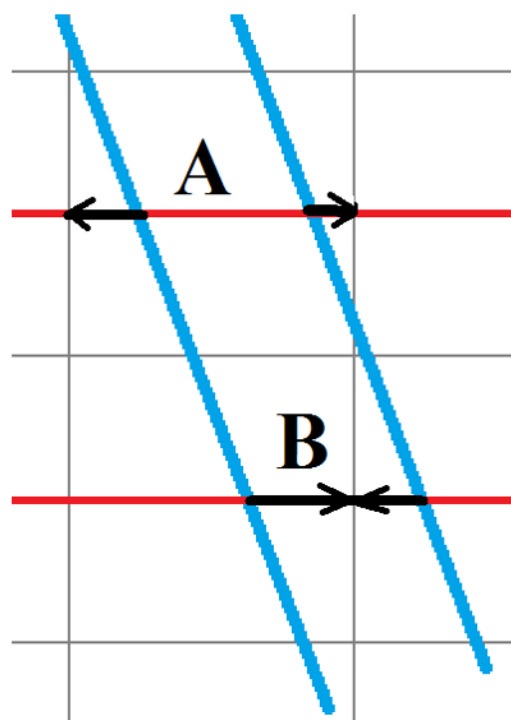


Рис. 35: Притягивание точек пересечения к граням сетки

Если точки притянулись к одной грани, то данный сегмент стены будет представлен с помощью OBST нулевой ширины (случай В), проходящего через данную грань. Иначе – с помощью OBST ненулевой ширины (случай А). Результат показан зелёным цветом на следующем рисунке.

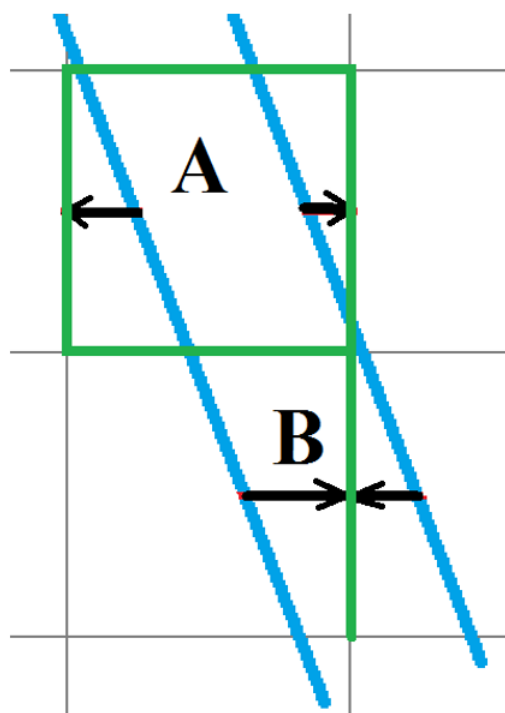


Рис. 36: OBST в случаях А и В

Получившийся OBST может иметь ширину несколько ячеек, в зависимости от исходной толщины элемента «Стена».

Результат разбиения, выполненный для каждой ячейки вдоль оси X, показан на рис.

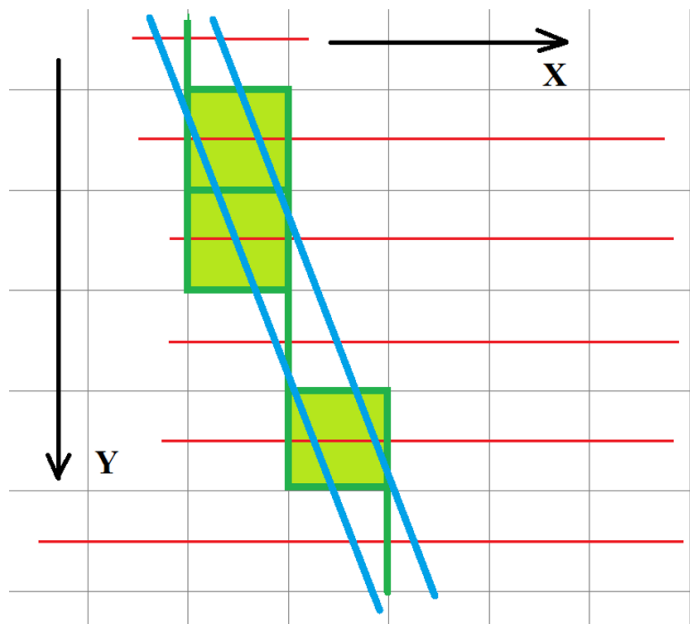


Рис. 37: OBST для стены

Аналогичная процедура разбиения стены на OBST выполняется и вдоль оси Y, а также для всех остальных слоёв ячеек MESH вдоль оси Z. Затем наборы OBST, полученные в процессе разбиений, объединяются. Получившийся набор считается представляющим стену в FDS.

На следующем рисунке показан сценарий Fenix+ 3 с четырьмя стенами и очагом пожара.

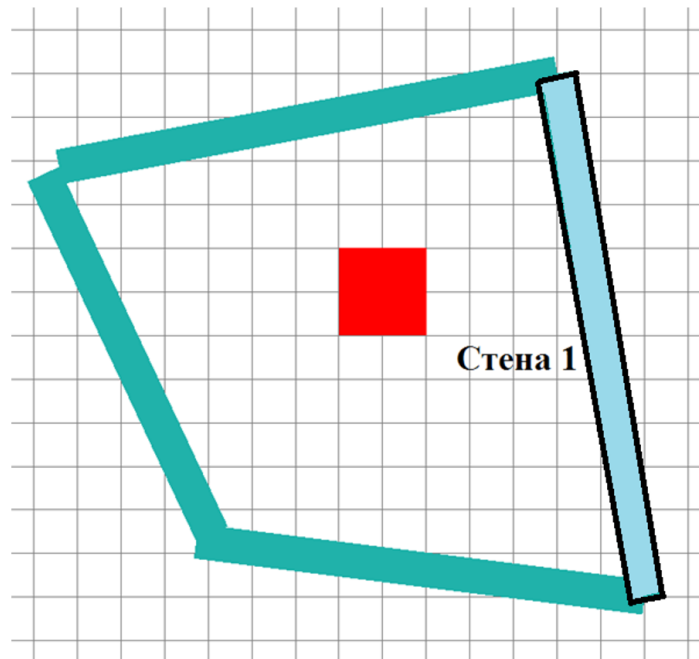


Рис. 38: Сценарий со стенами и очагом

Для примера покажем, как элемент «Стена 1» оказался представлен в файле FDS:

“Zдание 1” - “Stena 1”

&OBST XB=5.5, 5.5, 2.25, 2.5, 0, 2 RGB=32,178,170/

&OBST XB=5.25, 5.5, 2.5, 3.5, 0, 2 RGB=32,178,170/

&OBST XB=5.25, 5.25, 3.5, 4, 0, 2 RGB=32,178,170/

&OBST XB=5, 5.25, 4, 5, 0, 2 RGB=32,178,170/

&OBST XB=5, 5, 5, 5.25, 0, 2 RGB=32,178,170/

На следующем рисунке показан 3D-вид рассматриваемого сценария в Smokeview.

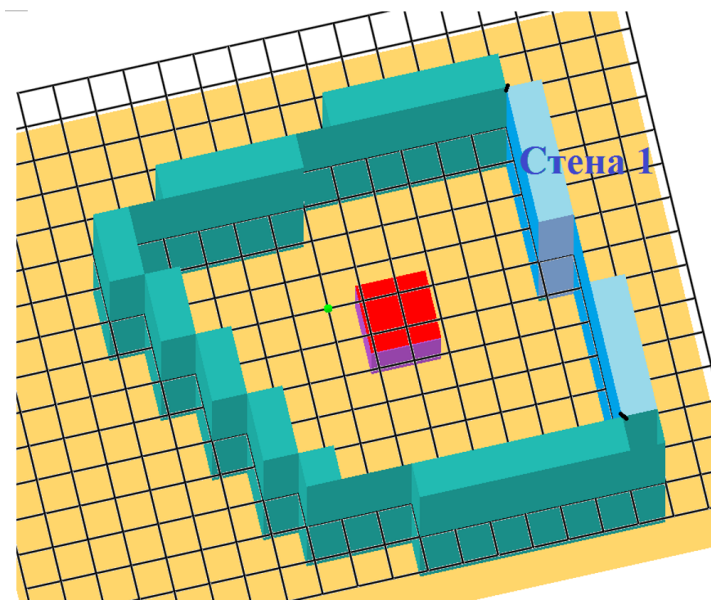


Рис. 39: Сценарий со стенами и очагом

Рассмотренная на примере элемента «Стена» процедура разбиения применяется точно таким же образом и к остальным Материальным элементам Fenix+ 3, за исключением Дверей и Окон, к которым она применяется с небольшими изменениями.

2.14. Материал

В зависимости от того, какой способ моделирования материалов конструкций выбран в окне **Параметры моделирования пожара**, входной файл FDS будет формироваться по-разному.

Параметры моделирования пожара

Сценарий 1

Очаг пожара	Области расчета	Ветер
Общие	Начальные условия	Двери и окна
Температура:	20 °C	
Фоновое давление:	101325 Па	
Относительная влажность:	40 %	
Градиент температуры:	0 °C/м	
Температура в помещениях:	20 °C	
<input type="checkbox"/> Тушение пламени		
Материал конструкций <div> <input checked="" type="radio"/> "Инертный" <p><i>Температура конструкций постоянна и равна начальной. Теплофизические свойства материала не учитываются.</i></p> <input type="radio"/> Фактический материал <p><i>Учитываются теплофизические свойства материала.</i></p> </div>		

Применить

Отменить

Рис. 40: Параметры моделирования пожара

Если выбран «Инертный» материал конструкций, то независимо от фактически выбранного материала при создании стен, в файл FDS попадут OBST, имеющие так называемый инертный (INERT) материал. Его температура постоянна и равна начальной. В системе FDS инертный материал принят по умолчанию, в явном виде его можно не указывать. Поэтому стены представляются только группой параметров OBST с указанными координатами. Фактический материал стен влияет, в этом случае, только на цвет, отображаемый в Smokeview.

&OBST XB=2.5, 2.75, 3.25, 3.75, 0, 2 RGB=32, 178, 170/

В большинстве случаев, при моделировании пожара использование «инертных» материалов стен вполне оправдано, поскольку заметно ускоряет расчёт, и не вносит заметных неточностей. (Более подробно – см. статью [«Влияние материалов стен на температуру и тепловой поток в помещении»](#)).

Если в окне **Параметры моделирования пожара** выбран «Фактический материал» конструкций, то в модели FDS будут учтены теплофизические параметры материала.

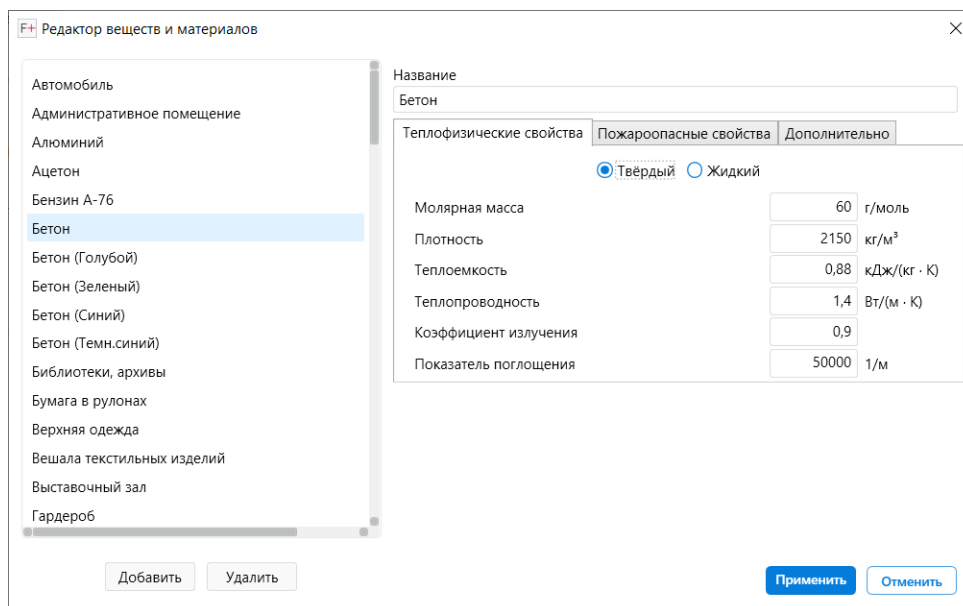


Рис. 41: Теплофизические свойства материалов

Плотность, Теплоёмкость и Теплопроводность материала в файле FDS будут представлены параметрами DENSITY, SPECIFIC_HEAT и CONDUCTIVITY группы параметров MATL.

```
&MATL ID='3' FYI='Beton' CONDUCTIVITY=1.4 DENSITY=2150 SPECIFIC_HEAT=0.88/
```

Толщина стены THICKNESS и ссылка на группу MATL с описанием материала задаются в группе параметров SURF.

```
&SURF ID='4' THICKNESS=0.2 RGB=127,127,127 MATL_ID='3'/
```

А в группе параметров OBST даётся ссылка на группу SURF.

```
&OBST XB=6, 6.25, 2.5, 5, 0, 3 SURF_ID='4' /
```

Коэффициент излучения материала и **Показатель поглощения** в данном примере были равны значениям, принятым в FDS по умолчанию, поэтому в явном виде в файле не упоминаются. В ином случае, значения параметров EMISSIVITY и ABSORPTION_COEFFICIENT были бы указаны в группе параметров MATL.

```
&MATL ID='3' FYI='Beton' CONDUCTIVITY=1.4 DENSITY=2150 EMISSIVITY=0.8 SPECIFIC_H
```

Коэффициент излучения (ϵ) определяется как отношение энергии, излучаемой объектом при данной температуре, к энергии, излучаемой идеальным излучателем или черным телом при той же температуре. Коэффициент излучения черного

тела равен 1.0. Вообще, коэффициент излучения может принимать значения от 0.0 до 1.0.

Многие неметаллические материалы (например, ПВХ, бетон, органические вещества) обладают высоким коэффициентом излучения ϵ от 0.8 до 0.95. Металлы, особенно с блестящей поверхностью, обладают низким коэффициентом излучения. Например, полированный алюминий имеет коэффициент излучения $\epsilon \approx 0.05$.

Коэффициент отражения от материала вычисляется в FDS как $1 - \epsilon$.

Можно заключить, что принятое в FDS по умолчанию значение $\epsilon = 0.9$ подходит для большинства материалов. Если необходимо моделировать присутствие материалов с более низким коэффициентом излучения (или, что то же самое, высоким коэффициентом отражения), то параметр **Коэффициент излучения** следует скорректировать.

Показатель поглощения – это величина, обратная расстоянию, на котором поток излучения уменьшается в результате поглощения в среде в $e \approx 2.7$ раз. Принятый по умолчанию в FDS показатель поглощения (50000 1/м) является очень высоким, и соответствует совершенно непрозрачным предметам. С помощью параметра **Показатель поглощения** материал можно сделать полностью или частично прозрачным для теплового излучения, установив показатель поглощения, соответственно, равным нулю, или известной из справочных данных величине.

Выбор опции «Фактический материал» позволяет повысить реалистичность моделирования и более точно учесть взаимодействие Материальных элементов с тепловым излучением. В частности, будет моделироваться нагрев Материальных элементов тепловым излучением и конвективными потоками горячего воздуха.

В случае, когда после преобразования Материального элемента в файл FDS, соответствующие ему OBST имеют толщину, равную нулю или размеру ячейки расчётной сетки, система FDS будет также моделировать сквозной прогрев. При этом при расчёте переноса тепла с одной поверхности Материального элемента на другую будет использоваться его «настоящая» толщина, заданная в параметре THICKNESS группы параметров SURF, а не толщина имеющегося OBST.

2.15. Толщина

Некоторые Материальные элементы имеют параметр Толщина. В случае моделирования с включённой опцией «Фактический материал», Толщина влияет не только на геометрическую толщину элемента, но и используется в качестве значения параметра THICKNESS группы параметров SURF, используемой для описания элемента в файле FDS.

```
&SURF ID='2' THICKNESS=0.2 RGB=255,140,0 MATL_ID='1'
```

&MATL ID='1' FYI='Beton' CONDUCTIVITY=1.4 DENSITY=2150 SPECIFIC_HEAT=0.88/

&OBST XB=2,6,2,2,0,2.5 SURF_ID='2'/

Здесь параметр THICKNESS группы параметров SURF имеет значение 0.2, соответствующее Толщине, указанной при создании элемента.

Если используется Материальный элемент, который не имеет свойства Толщина, то при моделировании с включённой опцией «Фактический материал» параметр THICKNESS группы параметров SURF для этого элемента будет иметь значение, равное размеру ячейки Сетки (см. Область расчёта).

Например, элемент «Стена» полигональной формы не имеет параметра Толщина. Его код может иметь следующий вид.

“Zdanie 1” - “Stena 1”

&OBST XB=4,4.25,2.25,2.5,0,2 SURF_ID='2'/

&OBST XB=4.25,4.5,2.25,3,0,2 SURF_ID='2'/

&OBST XB=4.5,4.75,2.25,3.25,0,2 SURF_ID='2'/

&OBST XB=4.75,5,2.25,3.5,0,2 SURF_ID='2'/

&OBST XB=5,5.25,2.25,3.75,0,2 SURF_ID='2'/

&OBST XB=5.25,5.5,2.5,3.25,0,2 SURF_ID='2'/

&SURF ID='2' THICKNESS=0.25 RGB=127,127,127 MATL_ID='1'/

&MATL ID='1' FYI='Beton' CONDUCTIVITY=1.4 DENSITY=2150 SPECIFIC_HEAT=0.88/

Здесь параметр THICKNESS группы параметров SURF имеет значение 0.25, соответствующее размеру ячейки.

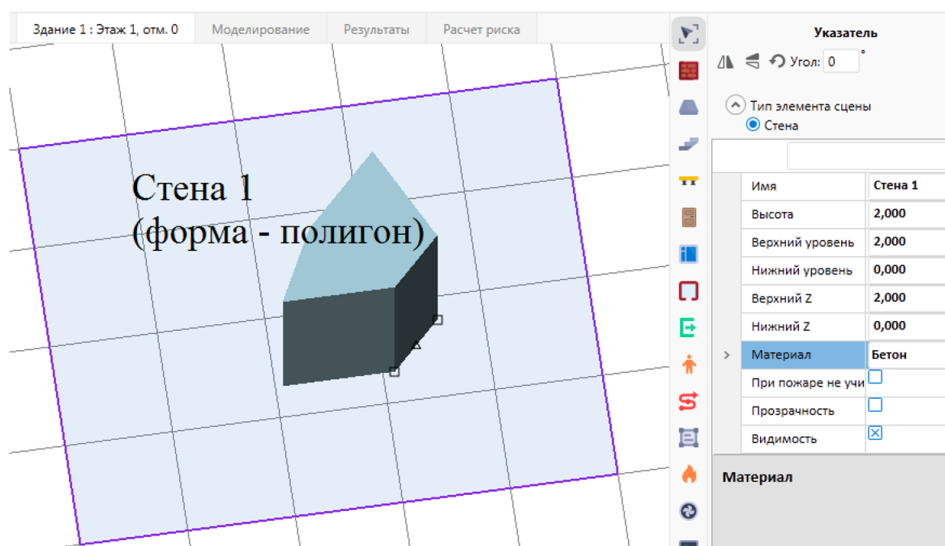


Рис. 42: Элемент «Стена», имеющий форму полигона

2.16. Дверь и Окно

Элементы «Дверь» и «Окно» в Fenix+ 3 относятся к так называемым Материальным элементам, и для них, за исключением некоторых особенностей, справедливо всё, что касается Материальных элементов.

В отличие от остальных Материальных элементов, элементы «Дверь» и «Окно» преобразуются в набор элементов OBST файла FDS с некоторыми особенностями.

Дверь считается открытой, если не активировано свойство «С доводчиком» или «Противопожарная». Открытая дверь представляет собой проём в стене и ей не ставятся в соответствие никакие элементы OBST в FDS файле.

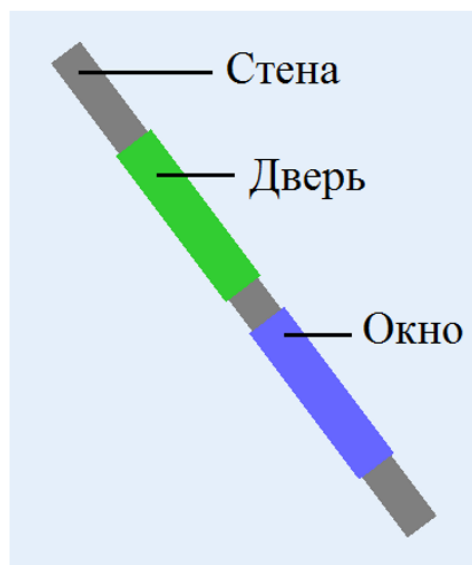


Рис. 43: Дверь и Окно в Fenix+ 3

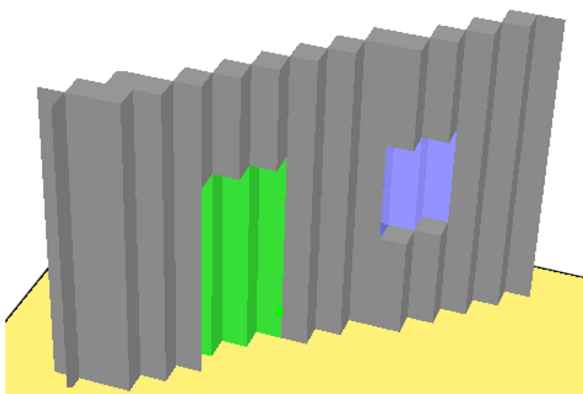


Рис. 44: Дверь и Окно в Smokeview

В файле FDS Дверь и Окно могут быть представлены примерно следующим кодом:

2.17. Дверь

```
&MATL ID='5' FYI='Paneli DVP' CONDUCTIVITY=1 DENSITY=1000 HEAT_OF_COMBUSTION=
```

```
&SURF ID='6' THICKNESS=0.05 RGB=0,0,205 MATL_ID='5'/
```

“Zдание 1” - “Dver 1”

```
&OBST XB=5,5,3.75,4,0,2 SURF_ID='6' RGB=50,205,50/
```

```
&OBST XB=5,5.25,3.75,3.75,0,2 SURF_ID='6' RGB=50,205,50/
```

```
&OBST XB=5.25,5.25,3.5,3.75,0,2 SURF_ID='6' RGB=50,205,50/
```

```
&OBST XB=5.25,5.5,3.5,3.5,0,2 SURF_ID='6' RGB=50,205,50/
```

```
&OBST XB=5.5,5.5,3.25,3.5,0,2 SURF_ID='6' RGB=50,205,50/
```

2.18. Окно

```
&MATL ID='7' FYI='Steklo okonnoe' CONDUCTIVITY=1.15 DENSITY=2500 SPECIFIC_HEAT=0
```

```
&SURF ID='8' THICKNESS=0.01 RGB=154,204,255 MATL_ID='7'/
```

“Zдание 1” - “Okno 1”

&OBST XB=5.75,5.75,2.75,3,1,2 SURF_ID='8' TRANSPARENCY=0.75 RGB=102,102,255/

&OBST XB=5.75,6,2.75,2.75,1,2 SURF_ID='8' TRANSPARENCY=0.75 RGB=102,102,255/

&OBST XB=6,6,2.5,2.75,1,2 SURF_ID='8' TRANSPARENCY=0.75 RGB=102,102,255/

&OBST XB=6,6.25,2.5,2.5,1,2 SURF_ID='8' TRANSPARENCY=0.75 RGB=102,102,255/

&OBST XB=6.25,6.25,2.25,2.5,1,2 SURF_ID='8' TRANSPARENCY=0.75 RGB=102,102,255/

В Fenix+ 3 толщина двери и окна всегда равна 0.05 м и 0.01 м соответственно. Так как на практике как правило применяются Области расчета со значительно большим размером ячейки, то при выключенной опции «Учитывать утечки» Дверь и Окно представляются в файле FDS с помощью OBST нулевой толщины. Толщина Двери и толщина Окна передаются с помощью параметра THICKNESS группы параметров SURF.

Элемент Окно всегда отображается в Smokeview полупрозрачным. Для этого в группе параметров OBST указывается параметр TRANSPARENCY=0.75.

В приведённом примере для Окна выбран материал Оконное стекло, у которого задан нулевой Коэффициент поглощения (параметр ABSORPTION_COEFFICIENT группы параметров MATL равен нулю).

Следует различать прозрачность элемента при просмотре модели в Smokeview, которая задаётся параметром TRANSPARENCY группы параметров OBST, и которая никак не влияет на результаты моделирования, и прозрачность объекта для излучения, которая регулируется параметром ABSORPTION_COEFFICIENT.

Учитывать утечки

У элементов Дверь и Окно имеется параметр «Учитывать утечки», который описан в разделе Моделирование утечек.

2.19. Индивидуальные параметры элемента Дверь

Выбор параметра **«С регистратором»** приводит к размещению регистратора на элементе Дверь. Подробно это описано в разделе **Регистратор**.

Дверь **«С доводчиком»** при моделировании пожара изначально закрыта. Но открывается на время прохождения людей, если перед моделированием пожара проведено моделирование эвакуации. После прохождения людей Дверь С доводчиком будет закрыта через время, указанное в параметре «Время закрывания» элемента Дверь. По умолчанию, оно равно 25 сек.

С доводчиком	<input checked="" type="checkbox"/>
Время закрывания	25

Рис. 45: Время закрывания Двери С доводчиком

Если для двери выбрано время закрывания 25 секунд, то в файле FDS появится примерно следующий код

```
&OBST XB=-1,0,4,4,0,2 RGB=255,204,102 CTRL_ID='3'/
```

```
&CTRL ID='3' FUNCTION_TYPE='CUSTOM' INPUT_ID(1:1)='CLOCK' RAMP_ID='4' LATCH=.Fa
```

```
&RAMP ID='4' FYI='Dver 2 ramp' T=6.5 F=-1/
```

```
&RAMP ID='4' FYI='Dver 2 ramp' T=8.5 F=1/
```

```
&RAMP ID='4' FYI='Dver 2 ramp' T=31.9 F=1/
```

```
&RAMP ID='4' FYI='Dver 2 ramp' T=33.9 F=-1/
```

Где момент времени 7.5 секунд соответствует моменту прохождения первого человека, в момент 32.9 секунд соответствует времени спустя 25 секунд после прохождения последнего человека. В первый момент времени OBST пропадёт, а во второй – появится снова. С помощью группы параметров RAMP задаётся временная функция, а группа параметров CTRL управляет пропаданием и появлением OBST в соответствующие моменты времени.

«Противопожарная» Дверь при моделировании пожара изначально закрыта. Если в Параметрах моделирования пожара выбрана опция «Оборудованы устройством автоматического закрывания», то в момент прохождения людей дверь откроется и закроется через «Время закрывания» после прохождения последнего человека.

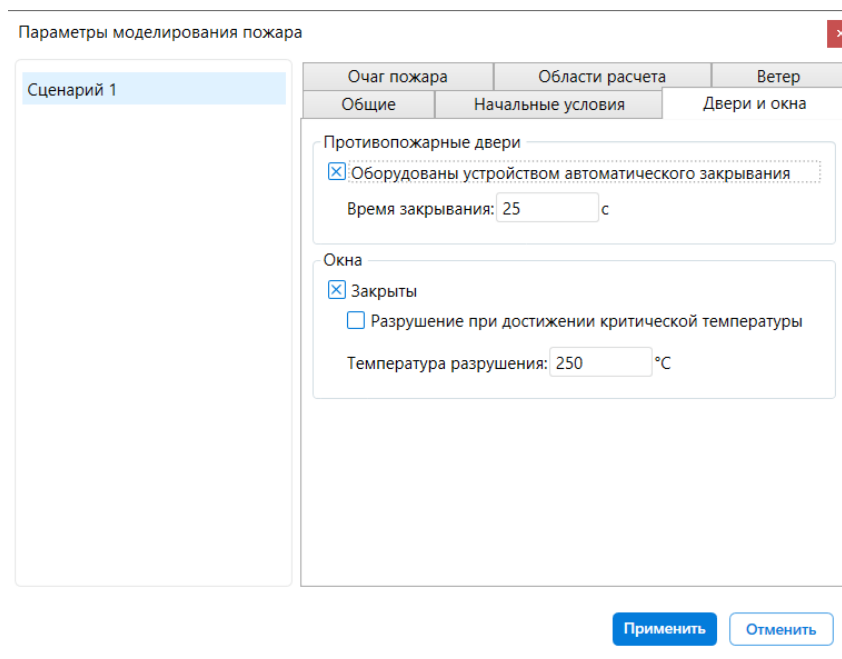


Рис. 46: Параметры моделирования пожара. Двери и окна

Для противопожарной двери, которая закроется через 25 секунд, в файле FDS будет такой же код, как и для двери с доводчиком.

Если опция «Оборудованы устройством автоматического закрывания» не выбрана, то элементы OBST, представляющие дверь, при моделировании пожара вообще не убираются.

2.20. Прочие параметры элемента Окно

В Параметрах моделирования пожара (см. рис. выше) можно указать, считаются ли Окна закрытыми при моделировании. Если опция «Закрыты» не выбрана, то оконный проём будет открытым.

Активация опции «Разрушение при достижении критической температуры» при активированной опции «Закрыты» приведёт к тому, что с каждой стороны окна будет размещен измеритель температуры. Измеритель располагается в верхней части окна, посередине горизонтальной проекции, на расстоянии, примерно равном размеру ячейки MESH. Если в процессе моделирования пожара показания хотя бы одного измерителя превысят величину «Температура разрушения», то элементы OBST, соответствующие элементу Окно, будут убраны.

В файле FDS Окну, которое может разрушиться при достижении критической температуры, соответствует примерно следующий код.

```
&OBST XB=2.5,2.5,1,2,1,2 TRANSPARENCY=0.75 RGB=102,102,255 CTRL_ID='3/'
```

&CTRL ID='3' FUNCTION_TYPE='ANY' INPUT_ID(1:2)='1','2' INITIAL_STATE=.True./

&DEVC ID='1' FYI='Okno 1 device 1' QUANTITY='TEMPERATURE' SETPOINT=250 XYZ=2.829

&DEVC ID='2' FYI='Okno 1 device 2' QUANTITY='TEMPERATURE' SETPOINT=250 XYZ=2.049

Здесь группа параметров DEVC описывает измерители температуры, а группа параметров CTRL управляет пропаданием OBST при превышении температурой заданного значения.

2.21. Помещение

Элемент Помещение позволяет определить некоторую характерную область внутри здания (помещение, коридор, тамбур и др.).

Объемом помещения считается область пространства, ограниченная контурами помещения и высотой равной высоте этажа, на котором расположено это помещение. Это означает, что если внутри здания какая-то область не будет отмечена как помещение, то начальное значение температуры в ней будет равно температуре окружающей среды (значению, указанному в поле Температура Параметров моделирования пожара). По умолчанию температура в помещениях равна температуре окружающей среды.

Если в свойствах Помещения активирована опция «Учитывать температуру», то значение будет использоваться при моделировании динамики развития пожара вместо начального значения температуры, которое используется по умолчанию для всех помещений.

Имя	Помещение 1
Площадь	18,240
Учитывать время начала эв	<input type="checkbox"/>
Время начала эвакуации	0
> Учитывать температуру	<input checked="" type="checkbox"/>
Температура	30
Количество людей	0
Нижний уровень	0,000
Нижний Z	0,000
С подписью	<input type="checkbox"/>
Наименование	Нет информации
Класс функциональной пож	Нет информации
Видимость	<input checked="" type="checkbox"/>

Учитывать температуру

Отметьте для указания, что температура в помещении уникальна.

Рис. 47: Свойства Помещения

При этом в файле FDS появится код, подобный следующему:

```
&INIT XB=-4,1,-1,3,0,3 TEMPERATURE=30/
```

Здесь группа параметров INIT используется, чтобы в области пространства, ограниченной координатами, заданными параметром XB, установить начальную температуру, заданную параметром TEMPERATURE.

В случае если помещение имеет не прямоугольную форму и/или ориентировано не вдоль осей X и Y, в файле FDS оно будет представляться несколькими группами INIT.

Подчеркнём, что речь идёт лишь о начальном значении температуры воздуха в указанном объёме. В дальнейшем она может меняться в соответствии с происходящими в сценарии процессами.

2.22. Вентиляция

Элементы Вентиляции можно размещать на боковых поверхностях стен, а также на нижних поверхностях перекрытий.

Элементы Вентиляции представляется в файле FDS с помощью групп параметров VENT, SURF и DEVC, если задано ненулевое Время включения.

&SURF ID='7' FYI='Ventilyaciya 1_Y' VEL=0.101413673278638 VEL_T=0.252424359458118,0 F

&DEVC ID='9' FYI='Ventilyaciya 1 controller' QUANTITY='TIME' SETPOINT=10 XYZ=-0.313183

&VENT XB=-0.5,-0.5,1.5,2,1,2 IOR=-1 SURF_ID='7' DEVC_ID='9'/

Параметр VEL группы SURF задаёт скорость движения воздуха по нормали к плоскости VENT. Причём положительное значение скорости соответствует вытяжной вентиляции, а отрицательное – приточной. Параметр VEL_T, если используется, задаёт тангенциальную компоненту скорости.

Параметр SETPOINT группы DEVC задаёт время начала работы вентиляции.

Параметр XB группы VENT задаёт координаты элемента VENT, причём одна из пар должна быть одинаковой, поскольку элемент имеет нулевую толщину. Параметр IOR может помочь FDS разместить VENT с нужной стороны OBST, если из-за округления размеров возникли неоднозначности.

Элементы VENT должны располагаться на поверхности элементов OBST ненулевой толщины. Преобразование координат Вентиляции из Fenix+ 3 в координаты элементов VENT происходит аналогично тому, как координаты Стен и Перекрытий преобразуются в координаты элементов OBST. (О представлении Стен и Перекрытий с помощью элементов OBST см. раздел **Элементы со свойством «Материал»**). В результате, все элементы VENT оказываются лежащими на поверхности элементов OBST, соответствующих Стене или Перекрытию, на котором расположена Вентиляция.

Из-за дискретности расчётного домена, суммарная площадь элементов VENT, описывающих данный элемент Вентиляции, может отличаться от заданной в Fenix+ 3. Однако расход воздуха и направление вектора движения воздуха останутся прежним. Правильная величина расхода воздуха достигается за счёт корректировки скорости потока.

Для примера рассмотрим приточный элемент Вентиляции, размещённый на Стене. Его ширина и высота равны 1 м, а производительность задана в размере 1000 м³/ч.

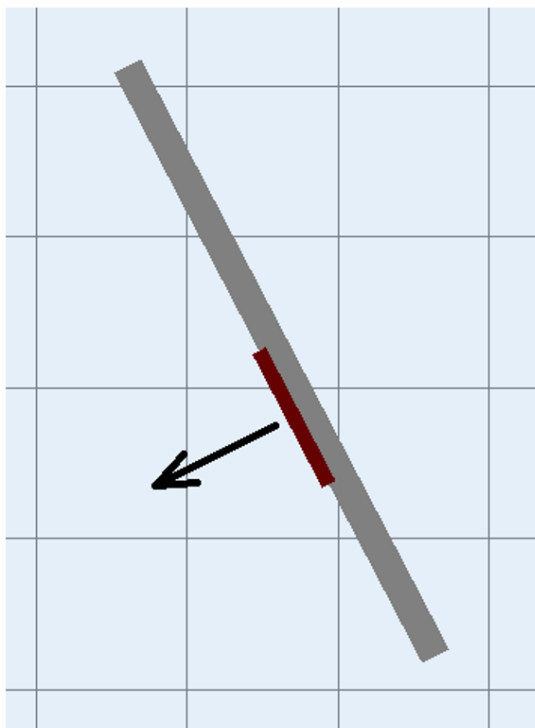


Рис. 48: Вентиляция на Стене

Чёрным цветом на рисунке показано направление вектора потока воздуха, соответствующее перпендикуляру к плоскости Вентиляции.

На следующем рис. показано, как Стена и Вентиляция будут представлены в файле FDS (вид в Smokeview).

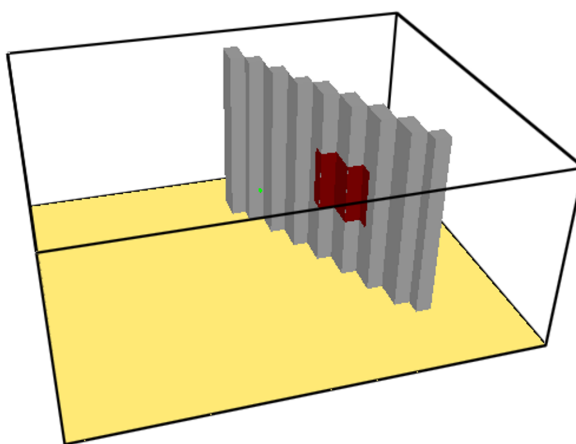


Рис. 49: Вентиляция на Стене в Smokeview

В файле FDS указанной вентиляции соответствует следующий код.

```
&SURF ID='4' FYI='Ventilyaciya 1_X' VEL=-0.22031617876375 VEL_T= 0.114923198028057,0 F
```

```
&SURF ID='5' FYI='Ventilyaciya 1_Y' VEL=-0.114923198028057 VEL_T= 0.22031617876375,0 F
```

```
&VENT XB=0.75,0.75,2.5,3,1,2 IOR=-1 SURF_ID='4'/
```

```
&VENT XB=0.5,0.5,3,3.25,1,2 IOR=-1 SURF_ID='4'/
```

```
&VENT XB=1,1,2.25,2.5,1,2 IOR=-1 SURF_ID='4'/
```

```
&VENT XB=0.5,0.75,3,3,1,2 IOR=-2 SURF_ID='5'/
```

```
&VENT XB=0.75,1,2.5,2.5,1,2 IOR=-2 SURF_ID='5'/
```

Несмотря на то, что Вентиляция представлена в FDS элементами VENT, плоскость каждого из которых отличается от плоскости Вентиляции в Fenix+ 3, направление воздуха, выдуваемого каждым элементов VENT, совпадает с требуемым. Чтобы убедиться в этом, достаточно построить вектор с координатами VEL и VEL_T для каждого элемента VENT. (См. рис.)

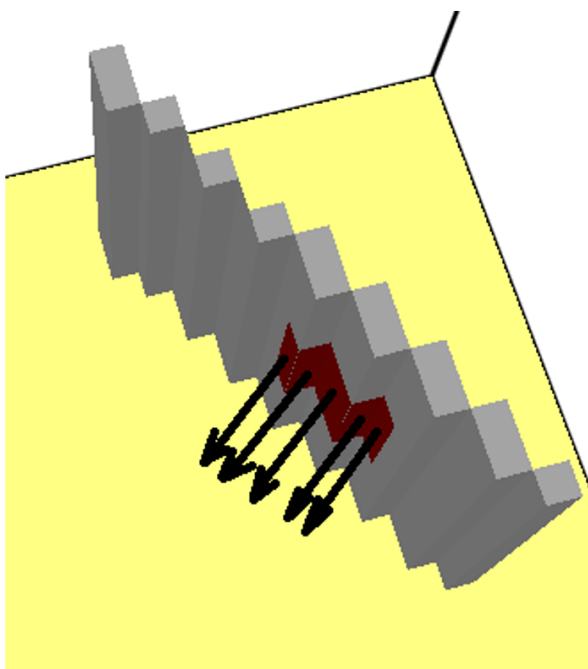


Рис. 50: Направления векторов выдувания воздуха из каждого VENT

Производительность Вентиляции можно оценить, умножив площадь каждого VENT на нормальную компоненту скорости, и сложив результаты. Для нашего примера получаем:

Расход воздуха = $0.5 \text{ м}^2 \cdot 0.22 \text{ м/с} + 0.25 \text{ м}^2 \cdot 0.22 \text{ м/с} + 0.25 \text{ м}^2 \cdot 0.22 \text{ м/с} + 0.25 \text{ м}^2 \cdot 0.115 \text{ м/с} + 0.25 \text{ м}^2 \cdot 0.115 \text{ м/с} \approx 0.2775 \text{ м}^3/\text{с} = 1000 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Расход воздуха соответствует заданному в параметрах элемента Вентиляция.

При размещении Вентиляции на перекрытии преобразование элемента в файл FDS происходит аналогично. Поскольку перекрытие всегда горизонтально, плоскость элемента Вентиляция всегда совпадает или параллельно плоскости элемента VENT, поэтому в группе SURF указывается только одна (нормальная) компонента скорости, VEL.

3. Глобальные условия моделирования

3.1. Начальные условия

Начальные условия моделирования пожара - это группа различных физических величин, которые используются в процессе моделирования. Некоторые из таких величин можно задать в интерфейсе программы, а некоторые значения используются по умолчанию без возможности изменения.

Параметры моделирования пожара

Сценарий 1

Очаг пожара	Области расчета	Ветер	ОФП
Общие	Начальные условия	Двери и окна	

Температура газов: 20 °C

Фоновое давление: 101325 Па

Относительная влажность: 40 %

Градиент температуры: 0 °C/м

Температура в помещениях: 20 °C

Материал конструкций

☒ "Инертный"

Температура конструкций постоянна и равна начальной. Теплофизические свойства материала не учитываются.

☐ Фактический материал

Учитываются теплофизические свойства материала.

Применить Отменить

Рис. 51: Начальные условия

Температура — температура окружающей среды. Значение по умолчанию 20°C.

Фоновое давление — атмосферное давление. Значение по умолчанию 101325 Па (760 мм. рт. ст.).

Относительная влажность — отношение массовой доли водяного пара в воздухе к максимально возможной при заданной температуре. Значение по умолчанию 40%.

Градиент температуры — изменение температуры воздушной среды с увеличением высоты.

В среднем температура изменяется (понижается) на 0,06 °C каждые 100 метров. Градиент температуры, как правило, используется для моделирования открытых высотных доменов.

Температура в помещениях — начальная температура воздуха внутри объема помещений. См. раздел **Помещение**.

*По умолчанию приложение Fenix+ 3 использует значение параметра **Температура в помещениях** для всех помещений за исключением тех, в свойствах которых указано другое (отличное) значение. Данное условие выполняется только в том случае, если в свойствах таких помещений установлен флажок для параметра **Учитывать температуру**. Подробнее см. раздел **Помещение**.*

Параметры **Температура**, **Фоновое давление**, **Относительная влажность** в файле FDS представлены в группе MISC посредством параметров TMPA, P_INF, HUMIDITY:

```
&MISC HUMIDITY=40 P_INF=101325 TMPA=20 VISIBILITY_FACTOR=2.38 MAX_LEAK_PATH
```

Описание параметра VISIBILITY_FACTOR группы MISC см. в разделе **Видимость**.
Описание параметра MAX_LEAK_PATHS группы MISC см. в разделе **[Давление]**.
Описание параметра BNDF_DEFAULT группы MISC см. в разделе **Тепловой поток на ограждающих конструкциях**.

Градиент температуры задаётся посредством параметра LAPSE_RATE группы параметров WIND:

```
&WIND LAPSE_RATE= -0.006
```

3.2. Реакция горения

При рассмотрении горения можно опираться на следующие параметры горения материалов [5, 6]:

- $Y(O_2)$ – потребление кислорода, [кг/кг]
- $Y(CO_2)$ – выделение углекислого газа, [кг/кг]
- $Y(CO)$ – выделение угарного газа, [кг/кг]
- $Y(HCL)$ – выделение хлористого водорода, [кг/кг]
- $D(m)$ – дымообразующая способность, [Нп·м²/кг]
- ΔH – теплота сгорания, [кДж/кг]

Название
Оргстекло

Теплофизические свойства Пожароопасные свойства Дополнительно

☒ Горючий ☐ Негорючий

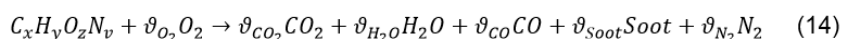
Низшая теплота сгорания	26400	кДж/кг
Линейная скорость распространения пламени	0,008	м/с
Удельная массовая скорость выгорания	0,0041	кг/(м² · с)
Коэффициент полноты сгорания	0,93	
Дымообразующая способность	78	Нп · м²/кг
Потребление кислорода	2,09	кг/кг
Выделение углекислого газа (CO ₂)	1,795	кг/кг
Выделение угарного газа (CO)	0,1266	кг/кг
Выделение хлористого водорода (HCl)	0	кг/кг
Критическая плотность теплового потока	8	кВт/м²

Рис. 52: Свойства материала в Редакторе веществ и материалов

Замечание: далее в разделе «Реакция горения» все величины, значение которых известно в момент упоминания, выделяются жирным шрифтом.

Как правило, FDS для моделирования горения не использует все эти параметры в неизменном виде. Кроме того, необходим ряд других параметров, которые отсутствуют в доступных справочниках. Соответственно, необходимо преобразовать известные параметры в параметры, необходимые для моделирования с помощью FDS.

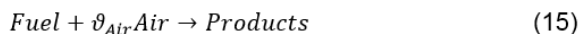
FDS6 позволяет определить «простую» реакцию горения путем задания химической формулы топлива. При этом топливо должно состоять только из атомов углерода, водорода, кислорода и азота:



Этот способ по-прежнему можно использовать для реакций без выделения хлористого водорода (например, при горении бумаги). Однако, для реакций с выделением хлористого водорода (например, при горении автомобиля) он не подходит.

Для реакций горения с выделением хлористого водорода (и любых других продуктов) в FDS6 применяется другой подход: вместо точного указания химической формулы топлива задается только молярная масса топлива, количество кислорода, необходимого для сгорания топлива, и количество получаемых продуктов горения. Этот способ также подходит и для описания реакций горения без выделения хлористого водорода и, поэтому, используется при подготовке входного файла для FDS6 для всех реакций.

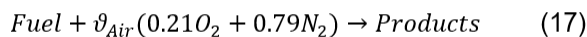
Реакцию горения можно представить в следующем виде:



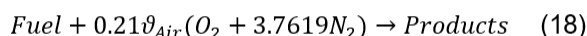
где:

- *Fuel* – топливо;
- *Air* – воздух, в котором происходит горение;
- $\vartheta(Air)$ – количество воздуха, необходимого для сгорания топлива;
- *Products* – продукты горения

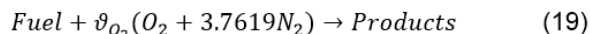
Воздух - смесь газов, основными компонентами которого являются азот (78,084% по объему) и кислород (20,9476% по объему). При моделировании принимаем, что объемная доля азота составляет 79%, а кислорода - 21%:



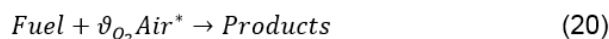
или



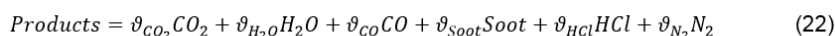
Так как $\vartheta(O_2) = 0.21\vartheta(Air)$, то уравнение (18) приобретает окончательный вид:



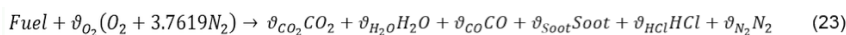
Уравнение (19) можно переписать как:



Продукты горения те же, что и в формуле (14) с добавлением хлористого водорода:



В результате получаем реакцию горения:



Таким образом, чтобы задать реакцию горения, необходимо определить количество кислорода $\vartheta(O_2)$ и количество каждого продукта горения: $\vartheta(CO_2)$, $\vartheta(H_2O)$, $\vartheta(CO)$, $\vartheta(Soot)$, $\vartheta(HCl)$ и $\vartheta(N_2)$.

Из закона сохранения количества атомов получаем, что:

$$\vartheta_{N_2} = 3.7619\vartheta_{O_2} \quad (24)$$

Остальные величины находятся следующим образом:

$$\vartheta_{O_2} = \frac{W_{Fuel}}{W_{O_2}} Y_{O_2}; \vartheta_{CO_2} = \frac{W_{Fuel}}{W_{CO_2}} Y_{CO_2}; \vartheta_{H_2O} = \frac{W_{Fuel}}{W_{H_2O}} Y_{H_2O}; \quad (25.1 - 25.3)$$

$$\vartheta_{CO} = \frac{W_{Fuel}}{W_{CO}} Y_{CO}; \vartheta_{Soot} = \frac{W_{Fuel}}{W_{Soot}} Y_{Soot}; \vartheta_{HCl} = \frac{W_{Fuel}}{W_{HCl}} Y_{HCl} \quad (25.4 - 25.6)$$

$$Y_{H_2O} = 1 + Y_{O_2} - Y_{CO_2} - Y_{CO} - Y_{Soot} - Y_{HCl} \quad (26)$$

$$Y_{Soot} = \frac{D_m}{K_m} \quad (27)$$

где:

- $Y(O_2)$ – потребление кислорода (ед. изм.: [кг/кг]),
- $Y(CO_2)$, $Y(CO)$, $Y(HCl)$, $Y(H_2O)$, $Y(Soot)$ – выделение углекислого газа, угарного газа, хлористого водорода, воды и сажи соответственно (ед. изм.: [кг/кг])
- $W(Fuel)$ – молярная масса топлива. Зачастую она не известна точно, так как горючая нагрузка представляет из себя сложную смесь веществ (например, «Административные помещения, учебные классы школ, ВУЗов, кабинеты поликлиник»). Поэтому, как правило, берется значение либо ~87 г/моль (для дерева, тканей) либо ~104 г/моль (для пластика, резины).
- $W(O_2)$, $W(CO_2)$, $W(CO)$, $W(H_2O)$, $W(HCl)$, $W(Soot)$ – молярная масса кислорода, углекислого газа, угарного газа, воды, хлористого водорода и сажи соответственно (ед. изм.: [г/моль]). Значения этих констант представлены в таблице П1.1 Приложения 1.

Выделение воды $Y(H_2O)$ (26) определено из закона сохранения массы:

$$1 + Y_{O_2} = Y_{CO_2} + Y_{H_2O} + Y_{CO} + Y_{Soot} + Y_{HCl}$$

Выделение сажи $Y(Soot)$ (27) можно обосновать, рассмотрев методику определения коэффициента дымообразования:

$$D_m = \frac{V}{L \cdot m} \cdot \ln \frac{T_0}{T_{min}} \quad (28)$$

где:

- V – вместимость камеры измерения
- L – длина пути луча света в задымленной среде

- m – масса образца
- $T_0, T(min)$ – соответственно значения начального и конечного светопропускания

С другой стороны, интенсивность света, проходящего через дым расстояние L , уменьшается в соответствии с законом:

$$\frac{T_{min}}{T_0} = e^{-K \cdot L} \quad (29)$$

где:

- Коэффициент поглощения света (оптическая плотность дыма, light extinction coefficient)

$$K = K_m \cdot \rho_{Y_{Soot}} \quad (30)$$

где:

- K_m – массовый коэффициент поглощения («mass extinction coefficient» (ед. изм.: m^2/kg)). По умолчанию в FDS5 значение этого параметра равно $8700 m^2/kg$ – типичное значение для горения древесины и пластика.
- $PY(Soot)$ – плотность дыма.

$$\rho_{Y_{Soot}} = \frac{m \cdot Y_{Soot}}{V} \quad (31)$$

В результате выражение (28) с учетом (29) – (31) преобразуется к виду:

$$D_m = K_m \cdot Y_{Soot} \quad (32)$$

Из выражения (32) находим выражение (27).

Замечание: единица измерения коэффициента дымообразования, $[m^2/kg]$. В некоторых пособиях (а также в методиках и пособиях по применению методик по расчету величин пожарного риска) используется единица измерения $[Нп \cdot m^2/kg]$. Непер (Нп) - безразмерная логарифмическая единица измерения отношения двух величин. Её использование лишь подчеркивает «физическую суть» коэффициента дымообразования и не приводит к изменению числового значения. Поэтому, значения коэффициента дымообразования выраженного в $[m^2/kg]$ и $[Нп \cdot m^2/kg]$ одинаковы.

Таким образом, чтобы преобразовать параметры горения материалов в параметры, которые необходимы для FDS, необходимо последовательно выполнить следующие шаги:

- По формуле (27) определить $Y(Soot)$.
- По формуле (26) определить $Y(H_2O)$.
- По формулам (25.1 – 25.6) определить коэффициенты химической реакции.

- По формуле (24) определить $\vartheta(N_2)$.

Рассмотрим пример преобразования известных параметров материала в параметры, необходимые для FDS.

Сделаем это на примере типовой пожарной нагрузки «Автомобиль». Используем следующие параметры пожарной нагрузки:

- Низшая теплота сгорания (ΔH) - 31700 кДж/кг;
- Дымообразующая способность ($D(m)$) - 487 Нп·м²/кг;
- Потребление кислорода ($Y(O_2)$) - 2,64 кг/кг;
- Выделение углекислого газа ($Y(CO_2)$) - 1,295 кг/кг;
- Выделение угарного газа ($Y(CO)$) - 0,097 кг/кг;
- Выделение хлористого водорода ($Y(HCl)$) - 0,0109 кг/кг;
- Молярная масса топлива ($W(Fuel)$) - 104,3233 г/моль.

В FDS реакция горения представляется несколькими группами SPEC, определяющими каждый компонент реакции, и одной группой REAC.

В данном случае реакция горения будет представлена следующими группами:

```
&SPEC ID='OXYGEN' LUMPED_COMPONENT_ONLY=.True./
&SPEC ID='NITROGEN' LUMPED_COMPONENT_ONLY=.True./
&SPEC ID='CARBON DIOXIDE' LUMPED_COMPONENT_ONLY=.True./
&SPEC ID='CARBON MONOXIDE' LUMPED_COMPONENT_ONLY=.True./
&SPEC ID='HYDROGEN CHLORIDE' LUMPED_COMPONENT_ONLY=.True./
&SPEC ID='WATER VAPOR' LUMPED_COMPONENT_ONLY=.True./
&SPEC ID='SOOT' LUMPED_COMPONENT_ONLY=.True./
&SPEC ID='Avtomobil' MW=104.3233/
&SPEC ID='AIR' BACKGROUND=.True. SPEC_ID(1:2)='OXYGEN','NITROGEN' VOLUME_FRA
&SPEC ID='PRODUCTS' SPEC_ID(1:6)='SOOT','CARBON DIOXIDE','CARBON MONOXIDE','H
&REAC FUEL='Avtomobil' HEAT_OF_COMBUSTION=31700 SPEC_ID_NU(1:3)='Avtomobil','AIR'
```

Первые семь групп SPEC описывают «элементарные» компоненты реакции. Так как это «стандартные» компоненты, свойства которых уже заложены в FDS, то для них не нужно указывать никаких дополнительных параметров кроме LUMPED_COMPONENT_ONLY.

Значение параметра LUMPED_COMPONENT_ONLY=.True. означает, что этот компонент может использоваться только в «сложном» компоненте – в смеси.

Группа SPEC ID='Avtomobil' представляет топливо, для которого указывается только молярная масса.

Группа SPEC ID='AIR' представляет воздух, состоящий из кислорода и азота (см. формулу (21)). Так как он присутствует во всех точках моделируемого объема, параметру BACKGROUND присваиваем значение .True.

Группа SPEC ID='PRODUCTS' представляет продукты горения и их количество в реакции.

Группа REAC фактически отражает формулу (20).

В параметре SPEC_ID_NU перечислены все компоненты, участвующие в реакции горения: топливо, воздух и продукты реакции.

В параметре NU перечисляется количество каждого компонента реакции соответственно перечислению в параметре SPEC_ID_NU. Компоненты со знаком “-” потребляются во время реакции, а со знаком “+” выделяются.

3.3. Ветер

Параметры Ветра задаются на вкладке Ветер Параметров моделирования пожара. Параметры Скорость и Направление ветра в файле FDS описываются параметрами SPEED и DIRECTION группы параметров WIND. Направление ветра отсчитывается в градусах по часовой стрелке от направления сцены.

&WIND LAPSE_RATE= -0.006 SPEED=5 DIRECTION=225/

The screenshot shows a software window titled "Параметры моделирования пожара" (Parameters of fire modeling). On the left is a list box containing "Сценарий 1". The main area has several tabs: "Общие", "Начальные условия", "Двери и окна", "Очаг пожара", "Области расчета", and "Ветер". The "Ветер" (Wind) tab is active. It contains three input fields: "Скорость" (Speed) with a value of 5 and unit "м/с", "Направление сцены" (Scene direction) with a value of 0 and unit "°", and "Направление ветра" (Wind direction) with a value of 270 and unit "°". To the right of the "Направление сцены" and "Направление ветра" fields are dropdown menus showing "Северный" (North) and "Западный" (West) respectively. At the bottom right are two buttons: "Применить" (Apply) and "Отменить" (Cancel).

Рис. 53: Ветер

4. Эффекты, связанные с давлением

4.1. Эффекты, связанные с давлением

4.1.1. Моделирование давления в FDS

Тепловыделение очага пожара приводит к повышению температуры в помещении. Если это помещение герметично, то в нём должно повышаться давление. Работа приточной или вытяжной вентиляции увеличивает или, соответственно, уменьшает массу воздуха в герметичном помещении. Вследствие чего, давление в помещении также должно повышаться или падать.

Рассмотрим пример. Пусть имеется помещение с очагом пожара со следующими характеристиками:

Объём помещения = 48 м³.

Материал очага: Бензин.

Площадь очага = 0.25 м².

Время развития пожара = 10 с.

Как видно из рисунка, прирост давления составил ≈ 20 кПа. То есть 0.2 величины атмосферного давления. Такое давление равносильно тому, что на каждый квадратный метр пола, стен, потолка, дверей, окон давит груз массой 2 тонны.

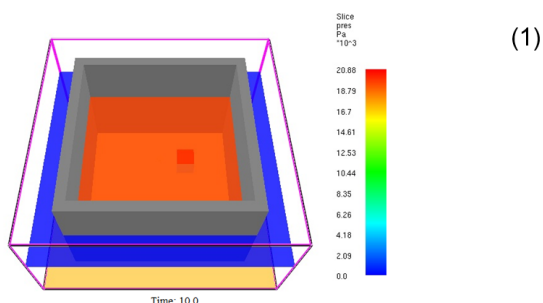


Рис. 54: Повышение давления при пожаре в герметичном помещении

Даже стены большинства жилых и производственных помещений в принципе не смогут выдержать такой нагрузки. Здание должно было бы лопнуть, как передутый воздушный шарик. А оконное стекло не выдержит перепада давления более, чем 0.03 атмосферы.

В реальности здания не лопаются ни от пожара, ни от работы противодымной вентиляции. Значит, при реальных пожарах столь сильного повышения давления не происходит. То есть такое большое повышение давления, полученное при моделировании пожара, некорректно. А значит при моделировании пожара не учтены какие-то факторы, которые влияют и на результаты моделирования пожара, в том числе и на распространение ОФП.

Стены, двери, окна, передаваемые в файл FDS посредством группы параметров OBST, по умолчанию, считаются герметичными.

В большинстве случаев, реальные помещения не обладают герметичностью, достаточной для образования перепада давления такой величины, поэтому разрушения конструкций не происходит. Представляется уместным, моделирование пожара проводить с учётом того, что такого большого изменения давления в помещении быть не может. Рассмотрим далее, что необходимо для учёта негерметичности помещений при моделировании пожара.

4.1.2. Зоны давления

Для корректного моделирования давления FDS разбивает весь расчётный домен на зоны давления. Зона давления (pressure zone) – это часть расчётного домена, которая герметично отделена от других его частей. Например, отдельной зоной давления может являться помещение, все двери и окна в котором глухо закрыты. Или коридор совместно со всеми помещениями, двери которых открыты в этот коридор. Далее вместо «зона давления» будем говорить кратко – «зона».

В любой момент времени давление внутри зоны одинаково в каждой точке.

FDS автоматически разбивает расчётный домен на зоны, и присваивает каждой зоне свой номер. Нулевой номер присваивается всему пространству, что находится за пределами расчётного домена (окружающему открытому пространству), и той части расчётного домена, которая не отделена герметично от окружающего открытого пространства.

Зоне можно присвоить номер вручную. Для этого нужно в файле FDS, используя группу параметров ZONE, указать точку внутри зоны.

`&ZONE XYZ=2, 3.5, 0.5/`

Указанные в файле fds зоны получают номера в порядке их упоминания, начиная с 1. Все не указанные в файле зоны получают номера автоматически, но они будут не известны и на них нельзя будет ссылаться в других группах параметров. Два раза указывать точки внутри одной зоны нельзя, иначе произойдёт ошибка запуска расчёта.

Номера зон нужно знать при моделировании Утечек.

4.1.3. Утечки

Реалистичное моделирование воздухообмена между помещениями при пожаре является актуальной задачей. Кроме непосредственного выхода воздуха и продуктов горения через открытые дверные и оконные проёмы, большое значение

имеет просачивание воздуха через неплотности закрытых проёмов, называемое *утечками*. Такое просачивание при пожаре происходит весьма активно, поскольку из-за повышения температуры возникает перепад давлений между смежными помещениями.

На распространение продуктов горения влияет и работа противодымной вентиляции, включая подпор воздуха в лифтовые шахты и лестничные клетки. Как и сам пожар, противодымная вентиляция может создавать перепады давления между помещениями, что может приводить к интенсивному газообмену через, казалось бы, закрытые дверные проёмы. Поэтому для корректного моделирования работы вентиляции также требуется учитывать утечки.

При моделировании пожара в системе FDS прохождение воздуха через открытые дверные или оконные проёмы учитывается естественным образом, поскольку в открытом проёме отсутствуют препятствия для прохождения воздуха. Остановимся далее на вопросе моделирования утечек.

Согласно [9], массовый расход воздуха (G), проходящего через неплотности дверных и оконных проёмов, зависит от разности давлений (Δp) по разные стороны проёма.

$$G \sim \sqrt{\Delta p}$$

Разумеется, воздух движется в направлении от большего давления к меньшему. Чем больше перепад давлений, тем выше расход воздуха через неплотности и щели. Поэтому работа вентиляции или очага пожара приводит к появлению утечек. В свою очередь, утечки снижают перепад давлений. В итоге, при наличии утечек перепад давления между помещениями (и улицей) имеет разумную величину, а продукты горения могут выходить через закрытые двери и окна. Что соответствует реальной ситуации при пожаре.

4.1.4. Характеристики конструкций, определяющие утечки

4.1.4.1. Площадь щели Если площадь щели, через которую осуществляется утечка, известна, то массовый расход воздуха можно посчитать по формуле:

$$G = \mu \cdot f_{\text{щ}} \cdot [2 \cdot \rho]^{1/2} \cdot \Delta p^{1/2}, \quad (1)$$

где Δp – разность давлений по разные стороны дверного или оконного проёма,

ρ – плотность воздуха, выходящего через щель;

$f_{\text{щ}}$ – площадь щели. Если помещения соединены не одним проёмом, а несколькими, то площади щелей нужно сложить;

μ – коэффициент расхода. Для щели (например, притвор двери) $\mu = 0.8$. Произведение $\mu \cdot f_{щ}$ называют эквивалентной гидравлической площадью.

4.1.4.2. Сопротивление газопрооницанию Зачастую площадь щелей в явном виде не известна, поэтому использование формулы (1) для определения расхода воздуха через щель не представляется возможным. В таких случаях массовый расход воздуха, фильтрующегося через щели дверей, определяется формулой:

$$G = \Delta p^{1/2} / [S_{дв}]^{1/2} \quad (2)$$

где Δp – разность давлений,

$S_{дв}$ – характеристика сопротивления газопрооницанию, $1/(\text{кг} \cdot \text{м})$, которая связана с $S_{уд}$ (удельная характеристика сопротивления газопрооницанию).

$$S_{дв} = S_{уд} / (f)^2$$

где f – площадь проёма,

$S_{уд}$ – удельная характеристика сопротивления газопрооницанию, $\text{м}^3/\text{кг}$. Изменяется в широком диапазоне, наиболее типичные значения в интервале 6000-200000 $\text{м}^3/\text{кг}$.

Формулу для расхода можно переписать в следующем виде:

$$G = \Delta p^{1/2} \cdot f \cdot [S_{уд}]^{1/2} \quad (3)$$

Согласно [10], удельное сопротивление дымогазопрооницанию противопожарных дымогазонепроницаемых дверей различных типоразмеров должно быть не менее, чем $1,96 \cdot 10^5 \text{ м}^3/\text{кг}$.

4.1.4.3. Характеристика воздухопроницаемости Массовый расход воздуха, фильтрующегося наружу через щели и неплотности проёма, задаётся формулой:

$$G = J \cdot f \cdot \Delta p^{1/2}, \quad (4)$$

где **J – удельная характеристика воздухопроницаемости**, $\text{кг}/(\text{с} \cdot \text{м} \cdot \text{Па}^{1/2})$;

$J = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м} \cdot \text{Па}^{1/2})$ - для одинарного спаренного остекления;

$J = 5 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м} \cdot \text{Па}^{1/2})$ - для двойного раздельного остекления;

f – площадь остекления, м^2 ;

Δp – разность давлений.

4.1.4.4. Объёмная воздухопроницаемость при $\Delta p = 100$ Па Объёмная воздухопроницаемость (при фиксированном перепаде давления) определяется [13, 14] как отношение объёмного расхода воздуха к площади поверхности образца.

$$Q = V/f$$

где Q – объёмная воздухопроницаемость, $\text{м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$;

V – объёмный расход воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$;

f – площадь поверхности, м^2 .

Массовый расход G может быть получен из объёмного расхода V умножением на плотность воздуха ρ , $\text{кг}/\text{м}^3$. Однако, следует учесть, что G измеряется в $\text{кг}/\text{с}$, а V в $\text{м}^3/\text{ч}$, поэтому

$$G = (Q/3600) \cdot f \cdot \rho$$

Данная формула будет давать правильное значение расхода воздуха через утечки только в том случае, если перепад давлений равен тому значению, при котором измерялась объёмная воздухопроницаемость.

Чаще всего известна объёмная воздухопроницаемость при перепаде давления 100 Па. Тогда расход воздуха при любом реальном перепаде давления может быть рассчитан по формуле:

$$G = (Q/3600) \cdot f \cdot \rho \cdot \Delta p^{1/2} / [100 \text{ Па}]^{1/2} \quad (5)$$

где Q – объёмная воздухопроницаемость, $\text{м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$;

f – площадь поверхности, м^2 .

ρ – плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Δp – разность давлений.

4.1.4.5. Где взять информацию о численном значении для производительности утечек через дверь или окно У изделия может быть паспорт. Там может быть указано соответствующее значение. Для противопожарных дверей в паспорте чаще всего указывают Объёмную воздухопроницаемость при $\Delta p = 100$ Па или Удельную характеристику сопротивления газопроницанию.

Если речь идёт о типовом изделии, на которое нет паспорта, то, возможно, существует ГОСТ или ТУ, по которым изделие изготовлено. Тогда интересующую информацию можно искать там. Например, типичные значения объёмной воздухопроницаемости для некоторых классов окон и балконных дверей можно найти в [15, 16].

4.1.5. Важность учёта утечек

Результат моделирования пожара с учётом утечек гораздо лучше соответствует реальности, чем без их учёта. Никакие двери и окна не являются полностью герметичными. И при реальных пожарах дым может просачиваться через двери (даже противопожарные) и попадать на пути эвакуации. Учёт утечек позволяет предусмотреть такую ситуацию.

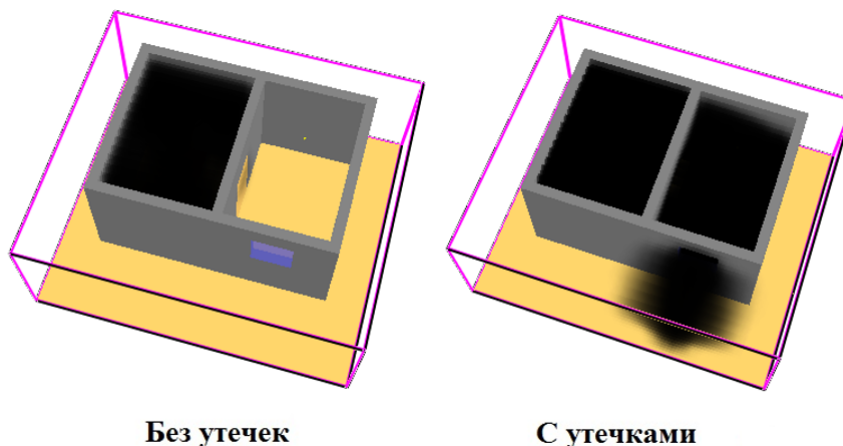


Рис. 55: Учет утечек делает результаты моделирования пожара более корректными

При этом утечки на окнах тоже нужно учитывать. Иначе, во-первых, воздух при нагреве будет стравливаться из помещения с очагом пожара только через двери с утечками, что приведёт к завышению оценки количества дыма, прошедшего через дверь. А, во-вторых, воздух будет служить подпором в помещениях, где находятся люди, и не даст попасть туда дыму при моделировании пожара, в то время как на самом деле при пожаре дым сможет туда попасть, выдавив имеющийся в помещении воздух через окно на улицу.

Для примера на рисунке ниже показано сравнение ситуации в трёх помещениях при пожаре в коридоре. Воздух в коридоре нагревается, происходит повышение давления.

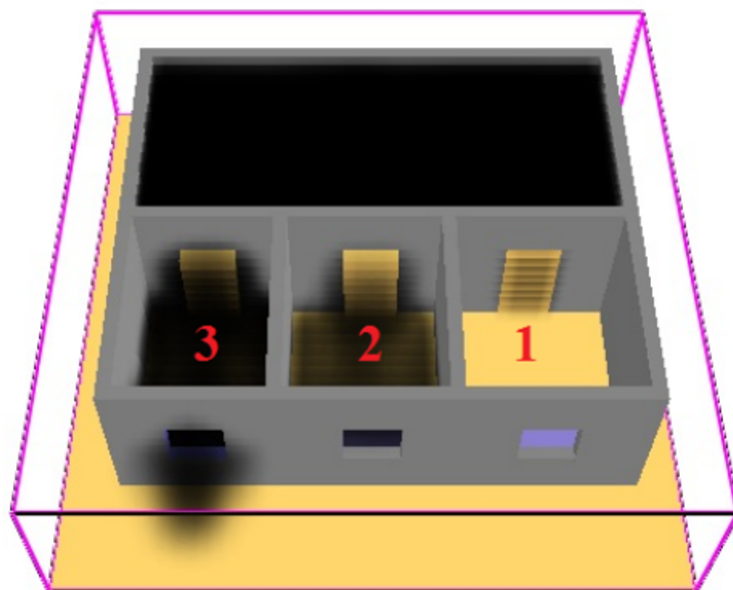


Рис. 56: Благодаря утечкам дым может поступать в закрытые помещения, а наличие окна с утечками усиливает это явление

В «Помещении 1» утечек нет ни через дверь, ни через окно. Дым в него вообще не поступает.

В «Помещении 2» имеются утечки через дверь, но утечек через окно нет. Поэтому умеренное количество дыма проникает в это помещение из коридора, но вместе с этим в помещении повышается давление, и дым поступать в помещение прекращает.

В «Помещении 3» имеются утечки и через дверь, и через окно. Дым поступает в это помещение из коридора, а избыточное давление стравливается на улицу через окно. Поэтому дым через дверь продолжает поступать в помещение, и даже выходит на улицу. Для реальных пожаров характерна именно такая ситуация. И только учёт утечек на дверях и окнах одновременно позволил промоделировать распространение дыма реалистично.

Имеется и ещё один поучительный пример, иллюстрирующий необходимость учитывать утечки через двери и окна. Пусть в замкнутом пространстве находится Очаг пожара, Вытяжная и Приточная вентиляция. Это пространство может иметь даже достаточно солидный объём. Главное, что оно герметично изолировано от внешней области моделирования (улицы), то есть утечки не активированы ни на Дверях, ни на Окнах. Противодымная вентиляция спроектирована с дефицитом притока относительно вытяжки (в пределах, допускаемых нормами).

Поскольку из герметичного пространства вытягивается больше воздуха, чем поступает, то при моделировании наблюдается значительное падение давления. Многие пользователи пренебрегают этим обстоятельством, считая его не влияющим на результаты моделирования. Однако это в корне не верно, поскольку

перепады давления сильнейшим образом влияют на газообмен. А корректное моделирование газообмена при пожаре очень важно, поскольку оно определяет распространение дыма и других опасных факторов.

Однако, имеется и ещё одно неочевидное последствие. Может происходить блокирование путей эвакуации даже очень далеко от очага пожара, куда дым ещё не добрался. По причине падения содержания кислорода. Вытяжная вентиляция, производительность которой больше, чем у приточной, уменьшает массу воздуха в объёме всего замкнутого пространства, поэтому содержание кислорода ($\text{кг}/\text{м}^3$) тоже падает. И это происходит не столько из-за выгорания кислорода, сколько из-за работы вентиляции. Точнее, из-за некорректного моделирования работы вентиляции, не учитывающего наличие негерметичностей (утечек), через которые в реальных ситуациях при работе вентиляции всасывается воздух. При пожарах в реальных зданиях дисбаланс в работе вентиляции не приводит к сильному перепаду давления из-за того, что через двери и окна засасывается недостающий воздух.

То есть отсутствие учёта утечек при моделировании пожара привело к ложному блокированию путей эвакуации.

Резюме:

Реальные помещения негерметичны. В них имеются проёмы и неплотности, через которые происходит утечка воздуха. Учёт утечек позволяет провести корректное моделирование газообмена при пожаре.

При моделировании пожара крайне желательно учитывать утечки через двери и окна, даже в тех помещениях, в которых нет очагов пожара, вентиляционных клапанов, и людей. И уж по крайней мере, в помещениях, ближайших к очагу пожара и вентиляционным клапанам. Это влияет на распространение дыма во всём здании.

В помещениях же с очагами пожара, с вентиляционными клапанами, и с людьми учёт утечек абсолютно необходим. В противном случае, результаты моделирования пожара могут содержать грубые ошибки.

4.1.6. Задание утечек в Fenix+

Для активации утечек через конкретную Дверь или Окно требуется включить опцию «Учитывать утечки» в свойствах данного элемента топологии.

Заблокирован	<input type="checkbox"/>
С регистратором	<input type="checkbox"/>
С подписью	<input type="checkbox"/>
Видимость	<input checked="" type="checkbox"/>
Противопожарная	<input checked="" type="checkbox"/>
С доводчиком	<input type="checkbox"/>
Время закрывания	бесконечность
Материал	
При пожаре не учитывать	<input type="checkbox"/>
Учитывать утечки	<input checked="" type="checkbox"/>
Характеристика утечек	Удельная характеристика
Удельная характеристика со	200000

Рис. 57: Активация утечек

Производительность утечек через Дверь/Окно может быть задана посредством задания:

- площади утечки,
- характеристики сопротивления газопроницанию,
- удельной характеристики сопротивления газопроницанию,
- объёмной воздухопроницаемости при 100 Па,
- удельной характеристики воздухопроницаемости.

Характеристика утечек	Удельная характеристика сопротивления газопроницанию
	Площадь утечки
	Удельная характеристика сопротивления газопроницанию
	Характеристика сопротивления газопроницанию
	Объёмная воздухопроницаемость при 100 Па
	Удельная характеристика воздухопроницаемости

Рис. 58: Характеристики утечек

Если задаётся **Площадь утечки**, то нужно указывать эквивалентную гидравлическую площадь $S = \mu \cdot f$ щели, уже учитывающую коэффициент расхода μ (обычно, $\mu=0.8$).

4.1.7. Преобразование информации об утечках в файл fds

В отличие от открытых проёмов, утечка через щели не может быть промоделирована в FDS непосредственно, поскольку размеры щелей гораздо меньше, чем традиционно используемые для расчётов пожаров размеры ячеек. Для моделирования утечек в FDS предусмотрен специальный механизм.

Воздух будет проходить через утечку, только если она соединяет помещения, находящиеся в разных зонах давления. В противном случае, просто не будет перепада давления. Для передачи утечек в файл fds понадобится знать номера зон, которые соединяет данная дверь или окно. Fenix+ 3 записывает в файл fds зоны, в которых имеются двери и/или окна с утечками, чтобы знать их номера.

Все параметры, характеризующие утечки, в файле fds задаются в группах параметров ZONE, SURF и MISC.

Если между зонами есть утечки через двери или окна, то при создании зоны в файле fds нужно указать площадь утечек во все зоны, с которыми она связана утечками. Это делается посредством задания параметра LEAK_AREA(i) группы параметров ZONE, где i – номер зоны, в которую осуществляется утечка из описываемой зоны.

Покажем использование параметра LEAK_AREA на примере. Пусть мы создали две зоны. Площадь утечки из **первой** зоны в **нулевую** равна 0.0001 м^2 , из **второй** в **нулевую** – 0.0003 м^2 , а из **второй** в **первую** – 0.0002 м^2 . Тогда группы параметров ZONE будут иметь следующий вид:

```
&ZONE XYZ=..., LEAK_AREA(0)=0.0001 /  
&ZONE XYZ=..., LEAK_AREA(1)=0.0002, LEAK_AREA(0)=0.0003 /
```

Из этого примера становится понятно, почему важен порядок групп ZONE в файле fds. Он определяет номера зон, которые используются в параметре LEAK_AREA.

Рассмотрим сценарий, в котором имеется три помещения, в двух из которых имеются двери с утечками, а одно имеет открытый выход на улицу (см. рисунок).

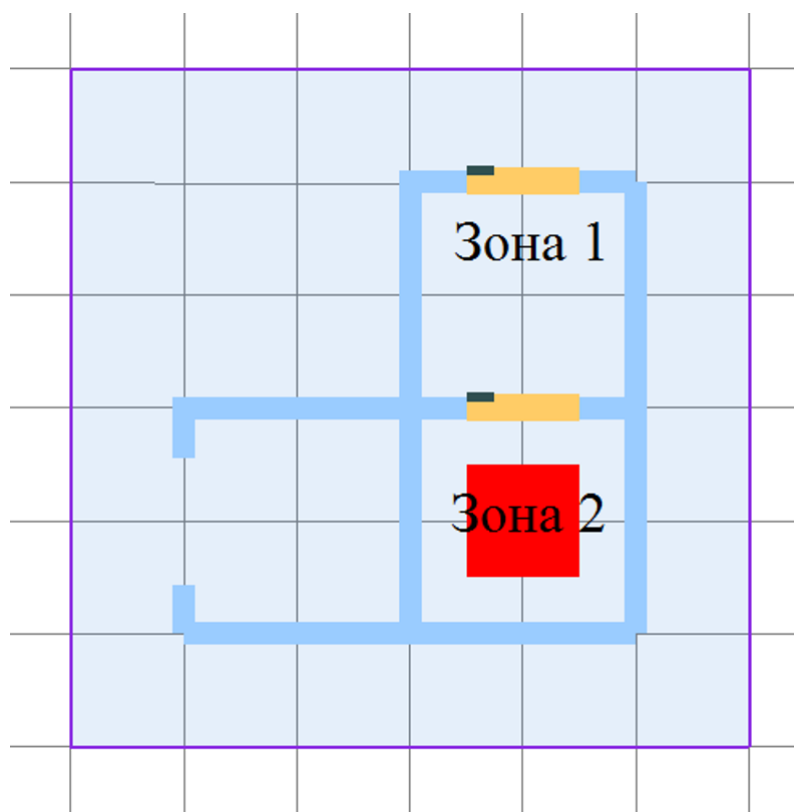


Рис. 59: Сценарий с Очагом пожара, Вентиляцией и Дверью

В файле `fds` этого сценария будут созданы две зоны:

`&ZONE XYZ=1,1.5,1 LEAK_AREA(0)=0.0029/ Зона №1`

`&ZONE XYZ=1.125,0.125,0.75 LEAK_AREA(1)=0.0029/ Зона №2`

Из Зоны 2 в Зону 1 имеется утечка площадью 0.0029 м^2 . И из зоны Зоны 1 в Зону 0 (на улицу) также имеется утечка.

Зоны создаются Fenix+ 3 автоматически, пользователю не нужно совершать для этого никаких действий.

Количество изолированных по давлению зон, используемых в проекте, указывается с помощью параметра `MAX_LEAK_PATHS` группы `MISC`.

`&MISC MAX_LEAK_PATHS=2/`

В FDS есть значение по умолчанию для максимального количества зон. Но Fenix+ всегда пишет в файл `fds` реально используемое количество зон, чтобы не столкнуться с ограничением.

Если Зона граничит с границей расчётного домена (см. **Область расчёта**), то возможны две ситуации:

1. Прилегающие к Зоне границы расчётного домена являются открытыми. Тогда Зона будет считаться связанной с внешней Зоной с номером «0», и давление в ней будет равно Фоновому;
2. Прилегающие к Зоне границы расчётного домена границы закрыты. Такая Зона будет функционировать изолированно от Зоны с номером «0».

Также в файле fds должны быть указаны поверхности (SURF), через которые будет реализовываться утечка. В Fenix+ 3 такая поверхность автоматически размещается на закрытых Дверях и Окнах, для которых выбрана опция «Учитывать утечки».

Параметр LEAK_PATH группы SURF указывает номера зон, которые поверхность соединяет утечкой.

&SURF ID='1',..., LEAK_PATH=1, 2 /

В результате, все элементы OBST в зонах 1 и 2 с типом поверхности SURF_ID='1' будут обмениваться утечками в соответствии с разницей давлений. Такая утечка может работать и в ту и в другую сторону.

Отметим, что подобной поверхностью нельзя покрыть объект нулевой толщины. Поэтому Fenix+ 3 Двери и Окна с включённой опцией «Учитывать утечки» представляет в файле FDS посредством OBST с толщиной, равной размеру ячейки MESH. При просмотре проекта в SmokeView это выглядит, как утолщение дверей и окон с утечками.

4.1.8. Производительность утечек в FDS

Производительность утечек (м³/с) в FDS определяется формулой [11]:

$$\dot{V}_{\text{leak}} = C_d A_L \text{sign}(\Delta p) \sqrt{2 \frac{|\Delta p|}{\rho}} \quad (6)$$

где C_d - коэффициент расхода (Fenix+ использует значение $C_d = 1$, принятое в FDS по умолчанию),

A_L – площадь щели,

Δp – разность давлений,

$\text{sign}(\Delta p)$ – знак разности давлений,

ρ – уличная плотность воздуха (ambient density).

В отличие от (1), плотность в формуле (6) находится в знаменателе, поскольку формула (6) рассчитывает объём, а (1) – массу.

$$G = \dot{V}_{\text{leak}} \cdot \rho$$

Параметр AL (LEAK_AREA) соответствует суммарной площади утечек из одной зоны в другую, поэтому если дверных проёмов несколько, то площади утечек через них складываются.

Независимо от того, какую характеристику утечек задал пользователь в Fenix+ 3, при передаче в файл fds она будет преобразована в площадь.

Если пользователь задаёт в Fenix+ 3 **Площадь утечки** (S), то для расчёта AL достаточно провести прямое сопоставление формул (1) и (6). Откуда видно, что

$$AL = \mu \cdot f_{\Sigma} = S, \quad (7)$$

то есть величина S будет передана в FDS в качестве параметра AL без преобразования.

Если задана **Удельная характеристика сопротивления газопроницанию** ($S_{уд}$), то, сопоставляя формулы (3) и (6), получаем

$$AL \cdot (2p)^{1/2} = f / (S_{уд})^{1/2}.$$

Откуда

$$AL = f / (2p S_{уд})^{1/2}. \quad (8)$$

Если задана **Характеристики сопротивления газопроницанию** ($S_{дв}$), то сопоставляя формулы (2) и (6), получаем

$$AL \cdot (2p)^{1/2} = 1 / (S_{дв})^{1/2},$$

Откуда

$$AL = 1 / (2p S_{дв})^{1/2}. \quad (9)$$

Если задана **Удельная характеристика воздухопроницаемости** (J), то формула для вычисления AL может быть получена сопоставлением формул (4) и (6)

$$S_{дв} = S_{уд} / (f)^2$$

Откуда

$$AL = J \cdot f / (2p)^{1/2}. \quad (10)$$

Если задана **Объёмная воздухопроницаемость при 100 Па** (Q), то формула для вычисления AL может быть получена сопоставлением формул (5) и (6)

$$AL \cdot (2p)^{1/2} = Q \cdot S \cdot p \cdot [1/100 \text{ Па}]^{1/2}$$

Откуда

$$AL = Q \cdot S \cdot (p)^{1/2} / [2 \cdot 100 \text{ Па}]^{1/2}. \quad (11)$$

4.1.9. Пример сценария с утечками

Рассмотрим пример сценария, в котором два помещения разделены Противопожарной дверью с Удельной характеристикой сопротивления газопрооницанию $200000 \text{ м}^3/\text{кг}$. В одном из помещений располагается очаг пожара. В другом помещении находится открытая дверь на улицу.

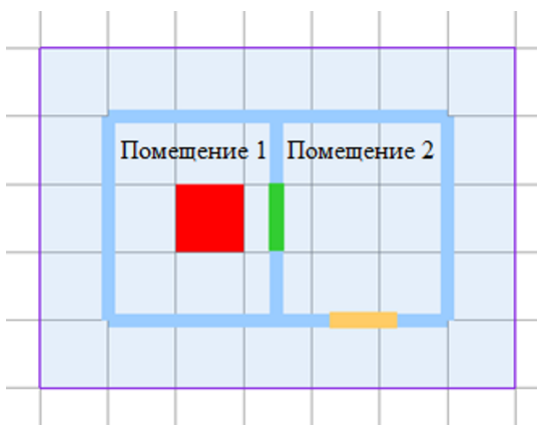


Рис. 60: Сценарий с Противопожарной дверью с утечками

Поскольку в сценарии присутствует Дверь с включённой опцией «Учитывать утечки», разделяющая изолированные друг от друга помещения, в файле FDS создаются две Зоны.

```
&ZONE XYZ=0.02, 0.48, 1/
```

```
&ZONE XYZ=1.625, 0.625, 0.75 LEAK_AREA(1)=0.00288675134594813/
```

Площадь утечки (LEAK_AREA) соответствует указанной в параметрах Двери Удельной характеристикой сопротивления газопрооницанию.

Дверь представлена элементом OBST:

```
&OBST XB=0.5,0.75,0,1,0,2 SURF_ID='1' RGB=50,205,50/
```

Она покрыта поверхностью SURF, в свойствах которой указывается, что через неё осуществляется связь Зон 1 и 2:

```
&SURF ID='1' LEAK_PATH=1, 2/
```

На рисунке ниже показано, как дым просачивается между помещениями через закрытую дверь. Просочившийся в правое помещение дым, далее беспрепятственно выходит на улицу через открытую дверь.

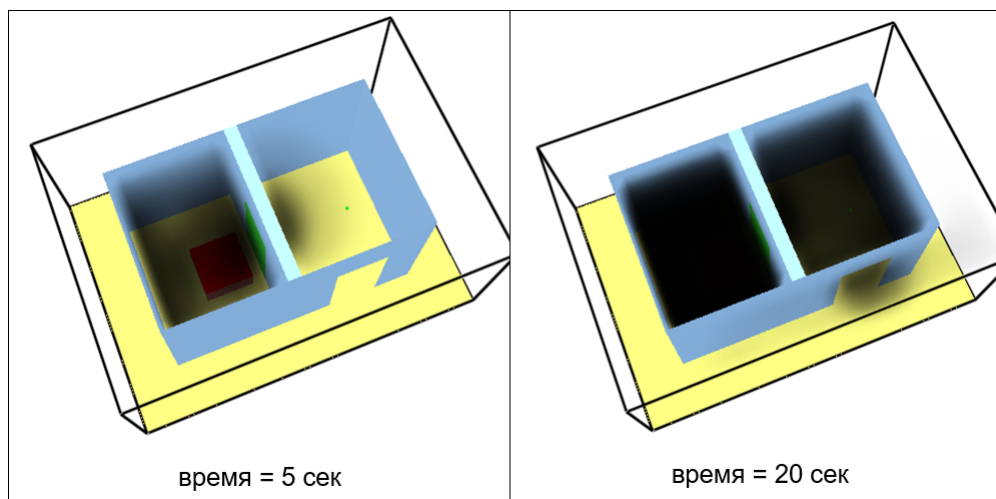


Рис. 61: Просачивание дыма через утечки в закрытой двери

Можно видеть, что учёт утечек позволяет существенно повысить реалистичность моделирования пожара.

4.1.10. Важные замечания про использование утечек

1. Важно понимать, что утечки не предназначены для моделирования отверстий. Утечка - это всегда щель. При расчёте работы утечек в FDS используются уравнения, которые справедливы только для щели. Если в качестве характеристики утечек задана площадь, то она должна быть **во много раз меньше**, чем площадь Двери или Окна. И какова бы ни была задана площадь, утечки работают только при наличии перепада давления. Не нужно пытаться моделировать открытые двери с помощью утечек. То есть задавать площадь утечки, равной площади дверного проёма. Это не приведёт к ожидаемым результатам при моделировании.
2. Нельзя располагать границу Области расчёта вплотную к Окнам и Дверям с включёнными утечками. Нужно, чтобы был зазор минимум в одну ячейку, а лучше - в несколько. Иначе FDS не сможет корректно промоделировать работу утечек.
3. Запирание очага пожара или элементов вентиляции в герметичном помещении повышает вероятность прерывания моделирования из-за численной нестабильности. Наличие утечек позволяет воздуху выходить из помещения, что повышает стабильность моделирования.
4. Если две зоны соединены несколькими закрытыми дверными или оконными проёмами с утечками, то для каждой из дверей и/или окон рассчитывается AL, потом площади складываются и получается итоговая LEAK_AREA. Суммарная производительность утечек будет делиться между всеми дверями и окнами, которые соединяют две зоны, пропорционально площади поверхности этих дверей и окон.

К сожалению, из этой особенности моделирования утечек в FDS следует, например, что если между двумя зонами имеется противопожарная дверь с низкой воздухопроницаемостью, и окно с высокой воздухопроницаемостью, то дым будет выходить через противопожарную дверь даже более интенсивно, чем через окно, если площадь двери больше, чем у окна. Более того, чем больше будет задана производительность утечек на окне, тем больше будет суммарная площадь утечек между зонами, и тем больше дыма выйдет и через дверь.

Однако, чаще всего двери и окна из помещения с очагом пожара выходят в разные зоны, поэтому такая проблема возникает редко.

Чтобы не сталкиваться с такой проблемой, при разработке сценария пожара в здании нужно обратить внимание на то, чтобы из двери и окна из здания на улицу были закрыты. Тогда получится, что окна из помещения с очагом пожара выходят на улицу, а двери выходят в коридор, который не имеет прямого сообщения с улицей. И тогда, если на окнах и дверях в помещении с очагом пожара имеются утечки, они не будут складываться, а будут моделироваться независимо. И если воздухопроницаемость окон будет существенно выше, чем у дверей, то дым преимущественно будет выходить через утечки в окнах, нежели в дверях. И в коридор попадёт сравнительно мало дыма.

Проиллюстрируем сказанное на рисунках.

На первом рисунке показана нежелательная конфигурация. Окно и противопожарная дверь выходят из помещения с очагом пожара в одну зону, поскольку дверь из коридора на улицу открыта. Утечки здесь поделятся между окном и дверью пропорционально площади. Что приведёт к тому, что при моделировании в коридор поступит много дыма, даже если сопротивление газопроницанию у двери будет существенно выше, чем у окна.

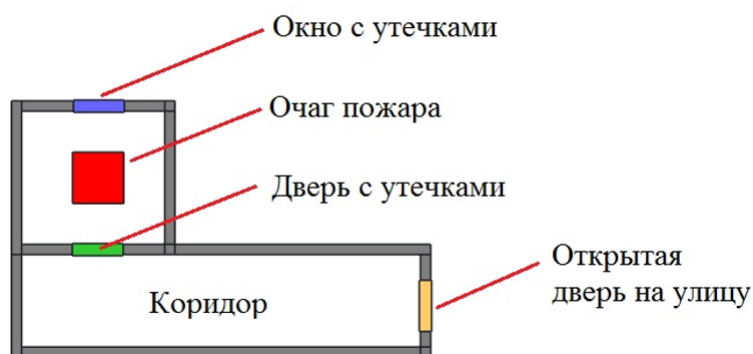


Рис. 62: Неправильная для моделирования утечек ситуация

На втором рисунке показана подходящая для моделирования утечек конфигурация. Окно и противопожарная дверь выходят из помещения с очагом пожара в разные зоны, поскольку дверь из коридора на улицу закрыта. Утечки через окно

и дверь из помещения с очагом пожара здесь будут моделироваться независимо. И если сопротивление газопроницанию у двери будет существенно выше, чем у окна, то дым, в основном, будет выдавливаться через окно на улицу, а не в коридор.

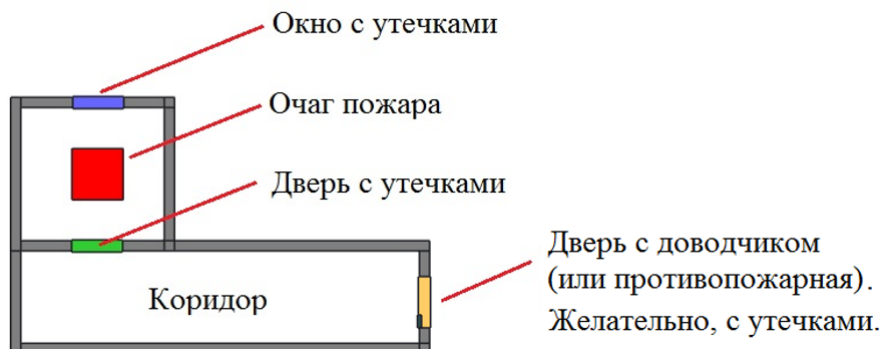


Рис. 63: Правильная для моделирования утечек ситуация

У двери из коридора на улицу также желательно активировать утечки, иначе учёт утечек из помещения с очагом пожара в коридор получится не очень честным. Ведь поступающий из помещения с очагом пожара воздух повысит давление в коридоре, и утечка из помещения в коридор постепенно прекратится. А при наличии утечек на уличной двери, воздух из коридора будет выходить на улицу, и давление в коридоре не повысится. Что больше соответствует действительности, и приведёт к корректному моделированию газообмена.

5. При моделировании пожара с учётом утечек нужно охватывать областями расчёта всё здание, или его герметичную часть, целиком. Иначе, если разрезать здание границей области расчёта, то внутренний объём здания разгерметизируется, и станет одной зоной давления с улицей. Тогда утечки через противопожарные двери могут начать моделироваться не очень корректно из-за того, что их производительность сложится с производительностью утечек через окна.

Ситуация проиллюстрирована на рисунке. Здесь окно и дверь из помещения с очагом пожара выходят в одну зону, поскольку закрытая дверь из коридора на улицу не охвачена областью расчёта. Утечки будут работать некорректно.

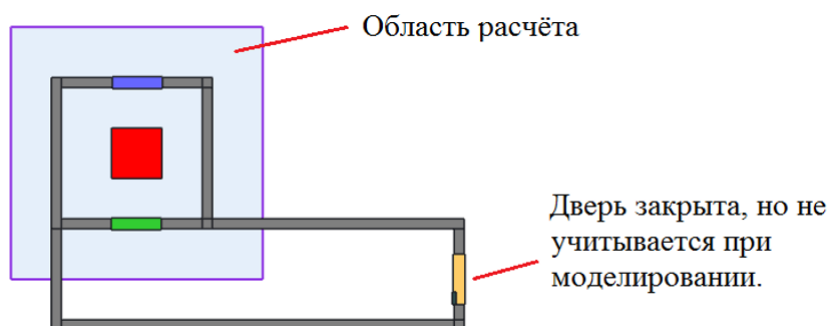


Рис. 64: Неправильное для учёта утечек размещение Области расчёта

Один из вариантов правильного размещения Области расчёта показан ниже.

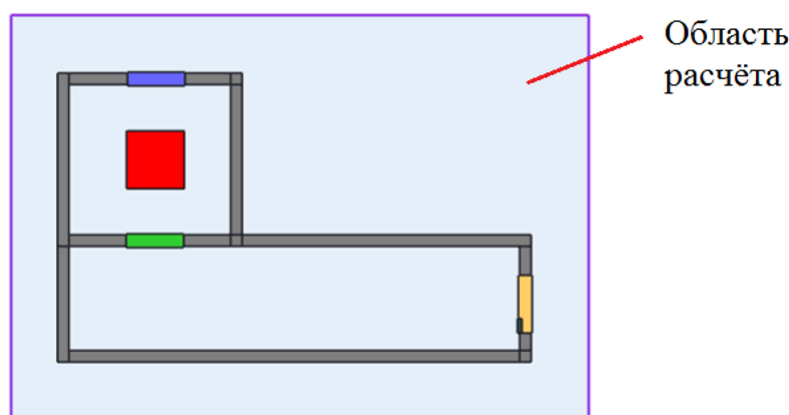


Рис. 65: Один из вариантов размещения Области расчёта, подходящих для корректного моделирования работы утечек

6. Очень желательно добавлять утечки не только в помещение с очагом пожара или вентиляцией, но и далее по пути возможного следования выталкиваемого/всасываемого воздуха. То есть на все двери в коридоре/холле, и желательно на окна хотя бы в ближайших помещениях. Эти утечки позволят воздуху уходить дальше через коридоры здания и, в конечном счёте, на улицу. На улицу воздух может выходить как через утечки в окнах, так и во входных дверях в здание. Поэтому на входных дверях их тоже нужно активировать.

Если этого не сделать, то выходящий из помещения с очагом пожара (через утечки в двери) воздух начнёт повышать давление в коридоре и смежных с ним частях здания. Что приведёт к снижению эффективности работы утечек, поскольку их производительность зависит от разницы давления.

5. Измерение опасных факторов пожара

5.1. Регистратор

Для контроля изменения опасных факторов пожара в программе Fenix+ 3 используются регистраторы. Пользователь может расположить регистраторы в любом месте (в первую очередь, на предполагаемых маршрутах эвакуации людей).

Регистратор может быть размещён несколькими способами:

1. Отдельно стоящий регистратор.
2. Регистратор в Двери (для этого нужно пометить дверь как «С регистратором»).
3. Регистратор на Лестнице или Пандусе (для этого нужно пометить Лестницу или Пандус как «С регистратором»).

5.2. Отдельно стоящий регистратор

По умолчанию, отдельно стоящие регистраторы располагаются на высоте 1.7 м от уровня этажа. Пользователь может задать любой желаемый уровень.

Контроль опасных факторов пожара осуществляться в одной или нескольких контрольных точках, расположенных равномерно вдоль регистратора. Расстояние между контрольными точками подбирается так, чтобы оно не превышало 1 м.

Если регистратор имеет длину менее 1.5 м, то измерение опасных факторов пожара будет производиться в одной контрольной точке по его середине.

В каждой контрольной точке производится измерение следующих величин:

- Температуры;
- Дальности видимости;
- Концентрации кислорода;
- Концентрации двуокиси углерода;
- Концентрации угарного газа;
- Концентрации хлористого водорода;
- Потока теплового излучения.

Поток излучения в каждой контрольной точке измеряется в двух направлениях, перпендикулярных оси регистратора и лежащих в горизонтальной плоскости.

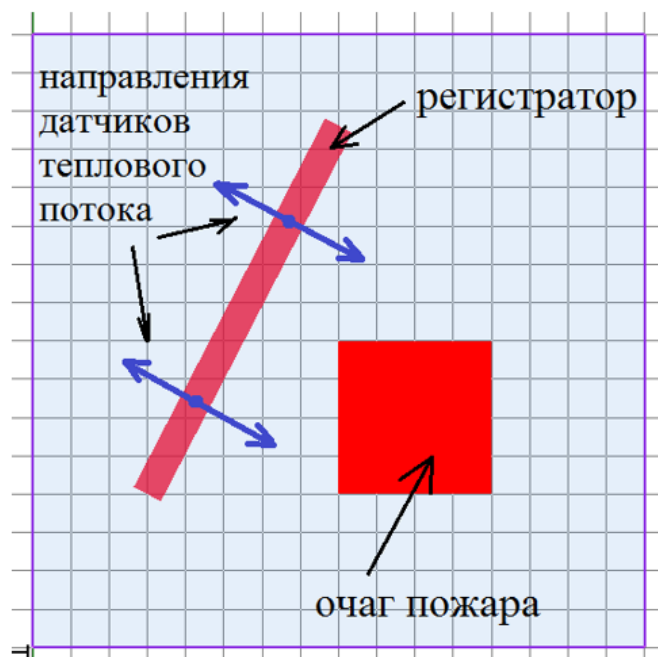


Рис. 66: Расположение и направление датчиков теплового потока

Для измерения каждого опасного фактора в каждой контрольной точке в модели FDS создаются датчики с помощью группы параметров DEVC. То есть, для каждой контрольной точки создаются строки такого вида:

```
&DEVC ID='1' QUANTITY='TEMPERATURE' XYZ=1, 0.5, 1.7/
```

```
&DEVC ID='2' QUANTITY='VISIBILITY' XYZ=1, 0.5, 1.7/
```

```
&DEVC ID='3' QUANTITY='DENSITY' SPEC_ID='OXYGEN' XYZ=1, 0.5, 1.7/
```

```
&DEVC ID='4' QUANTITY='DENSITY' SPEC_ID='CARBON DIOXIDE' XYZ=1, 0.5, 1.7/
```

```
&DEVC ID='5' QUANTITY='DENSITY' SPEC_ID='CARBON MONOXIDE' XYZ=1, 0.5, 1.7/
```

```
&DEVC ID='6' QUANTITY='DENSITY' SPEC_ID='HYDROGEN CHLORIDE' XYZ=1, 0.5, 1.7/
```

```
&DEVC ID='7' QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS' XYZ=1, 0.5, 1.7 ORIENTATION=1,0,0/
```

```
&DEVC ID='8' QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS' XYZ=1, 0.5, 1.7 ORIENTATION=-1,0,0/
```

Координаты датчиков (XYZ=...) передаются в модель FDS как есть, без округления и выравнивания в соответствии с размером ячейки. В отличие, например, от стен, координаты которых выравниваются.

Датчик для измерения потока теплового излучения 'RADIATIVE HEAT FLUX GAS' имеет параметр направления измерения (ORIENTATION), то есть он измеряет теп-

ловой поток с конкретного направления. Поскольку наиболее часто регистраторы размещают на предполагаемых маршрутах эвакуации, выбранные по умолчанию перпендикулярные направления измерителей теплового потока позволяют контролировать тепловое излучение пересекающее маршрут эвакуации с обеих сторон. Если существует необходимость контролировать в какой-то точке поток излучения с какого-то конкретного направления, необходимо разместить в этой точке отдельный регистратор перпендикулярно желаемому направлению.

5.3. Регистратор в двери

Регистратор в двери всегда располагается на высоте 1,7 м от нижнего уровня двери, в которой он расположен.

Дверные проёмы представляют собой особенно важные точки путей эвакуации, поэтому в Fenix+ 3 каждую дверь можно снабдить регистраторами. Регистраторы автоматически ставятся с двух сторон двери. Это позволяет оценивать опасные факторы с обеих сторон, независимо от того, с какой стороны произошло возгорание.

При размещении двери с регистраторами, с двух сторон от двери, фактически, размещаются регистраторы с длиной равной ширине дверного проёма. Чтобы не загромождать сцену эти регистраторы не отображаются, однако в реальности датчики есть и располагаются на расстоянии равном половине размера ячейки области расчёта, где размещена дверь (см. синие стрелочки на рис.). Зависимость количества контрольных точек от длины регистратора (ширины двери) такая же, как у простого регистратора.

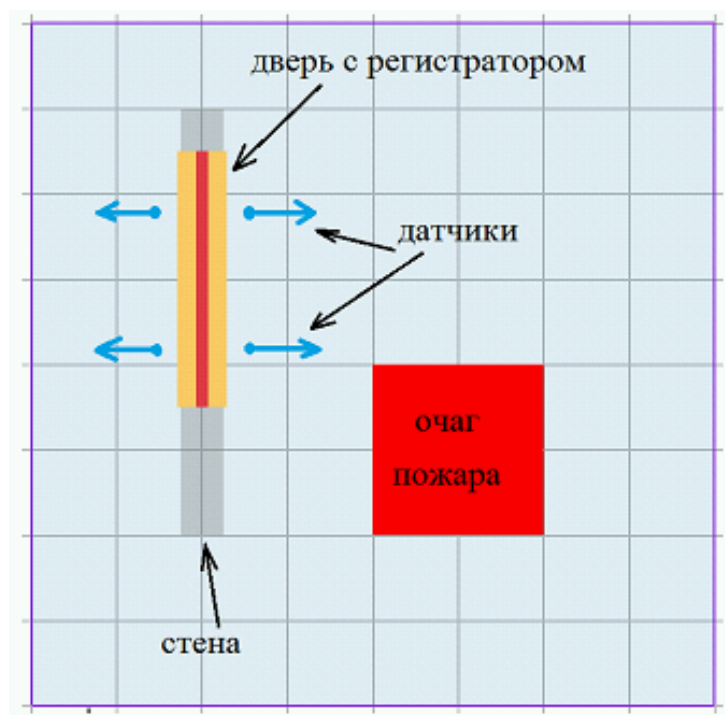


Рис. 67: Дверь с регистратором

5.4. Регистратор на Лестнице или Пандусе

При активации свойства «С регистратором» в начале и конце пролёта размещается регистратор на высоте 1.7 м.

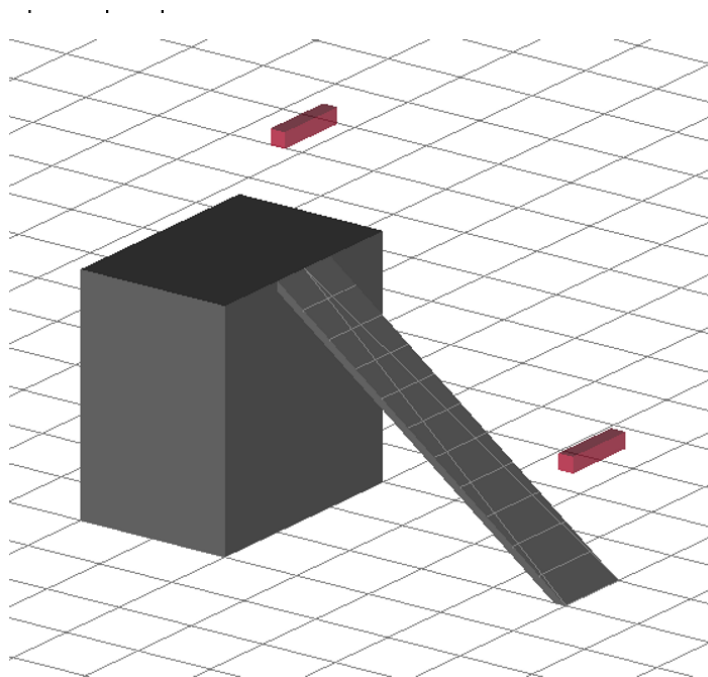


Рис. 68: Регистраторы внизу и наверху Лестницы

5.5. Слайсы

При использовании регистраторов, помимо размещения точечных датчиков, на высоте расположения регистраторов измеряется «срез» значений опасных факторов. Это делается с помощью механизма «слайсов» системы FDS.

В любую модель автоматически добавляются строчки подобные следующим:

```
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE' PBZ=1.7/
```

```
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY' PBZ=1.7/
```

```
&SLCF QUANTITY='DENSITY' SPEC_ID='OXYGEN' PBZ=1.7/
```

```
&SLCF QUANTITY='DENSITY' SPEC_ID='CARBON DIOXIDE' PBZ=1.7/
```

```
&SLCF QUANTITY='DENSITY' SPEC_ID='CARBON MONOXIDE' PBZ=1.7/
```

```
&SLCF QUANTITY='DENSITY' SPEC_ID='HYDROGEN CHLORIDE' PBZ=1.7/
```

Значения измеряемых с помощью инструмента «слайс» величин рассчитываются системой FDS в узлах сетки, разбивающей область расчёта на ячейки. То есть в вершинах ячеек. Поэтому реальная высота, на которой будет получен «срез» значений опасных факторов, зависит от размера ячейки и может отличаться от 1.7 м. Например, при размере ячейки 0.5 м слайс будет рассчитан на высоте 1.5 м, а при размере ячейки 0.25 м – на высоте 1.75 м.

5.6. Видимость

Дальность видимости в дыму (видимость) связана с коэффициентом поглощения света следующим соотношением:

$$S = \frac{C}{K} \quad (1)$$

где:

- C - безразмерная константа, характеризующая объект, наблюдаемый через дым ($C = 8$ для светозлучающих объектов и $C = 3$ - для светоотражающих). По умолчанию в FDS принимается $C=3$. Методика определения расчетных величин пожарного риска [1] рекомендует использовать значение $C=2.38$. Во входном файле FDS значение C задается параметром *VISIBILITY_FACTOR* группы параметров *MISC*;
- K - коэффициент поглощения света (в [1] используется термин «оптическая плотность дыма»)

При значениях K близких к нулю (что происходит в начале развития пожара, когда задымление ещё отсутствует), дальность видимости S , в соответствии с формулой (1) стремится к бесконечности. Так как FDS не может оперировать бесконечно большими величинами, вводится понятие «максимальная видимость» (параметр `MAXIMUM_VISIBILITY` группы параметров `MISC`). Соответственно, в случае, если значение, получаемое по формуле (1) превышает максимальную видимость, то, считается, что видимость равна максимальной видимости. По умолчанию в FDS максимальная видимость равна 30 метрам.

Фактически, формула (1) может быть расширена:

$$S = \min \left\{ \frac{C}{K}, \text{MAXIMUM_VISIBILITY} \right\} \quad (2)$$

Для того чтобы измерить видимость в определенной точке, во входном файле нужно создать группу параметров следующего вида:

```
&DEVC ID='5' FYI='Dver 1_1' QUANTITY='VISIBILITY' XYZ=5.025,4,1.7/
```

Параметр *QUANTITY* определяет физическую величину, которую необходимо измерять. Для видимости значение параметра должно быть '*VISIBILITY*'

Для измерения коэффициента поглощения света параметр *QUANTITY* должен быть равен '*EXTINCTION COEFFICIENT*':

```
&DEVC ID='5' FYI='Dver 1_1' QUANTITY='EXTINCTION COEFFICIENT' XYZ=5.025,4,1.7/
```

На рисунке ниже показаны типичные графики изменения видимости при различных значениях параметра `MAXIMUM_VISIBILITY` (15, 30 и 45 метров).

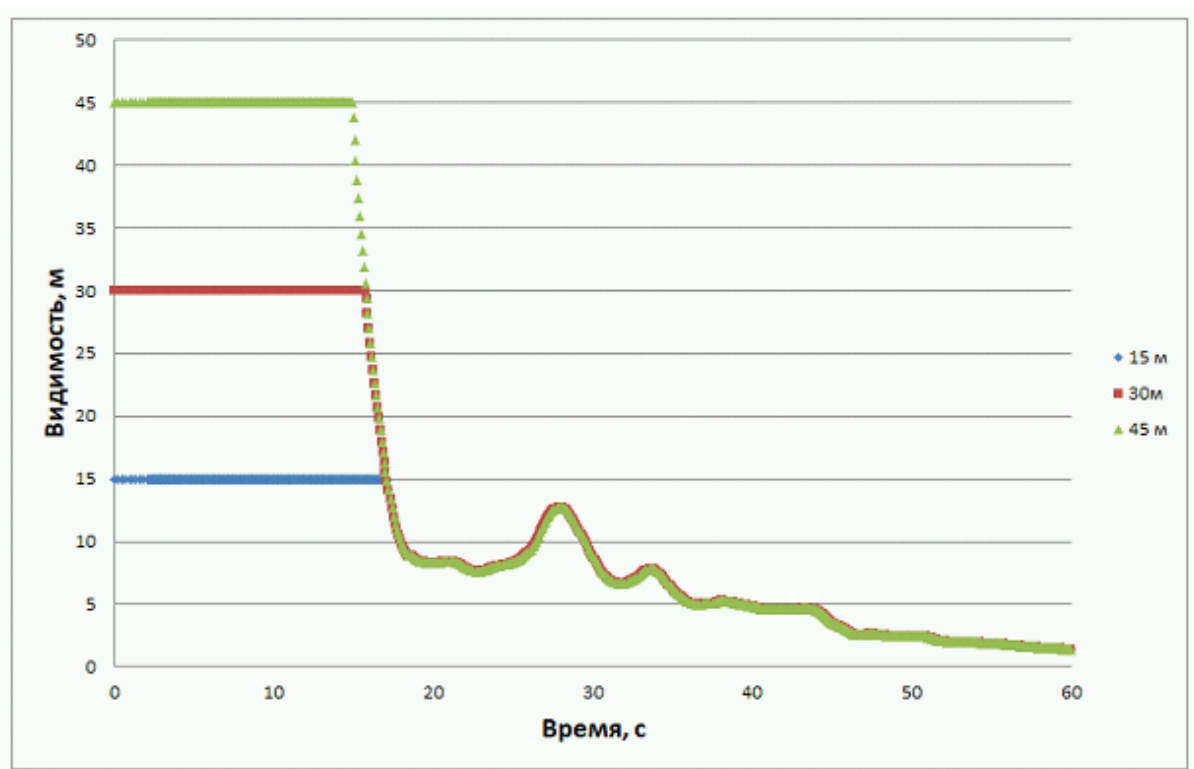


Рис. 69: Графики изменения видимости при различных значениях параметра *MAXIMUM_VISIBILITY*

Видно, что графики полностью совпадают при видимости меньше *MAXIMUM_VISIBILITY*.

В соответствии с методикой определения расчетных величин пожарного риска [1] время блокирования эвакуационных путей по видимости происходит тогда, когда видимость становится меньше 20 метров. Это означает, что для корректного определения времени блокирования по видимости во входном файле FDS значение параметра *MAXIMUM_VISIBILITY* не должно быть меньше 20 м. Если *MAXIMUM_VISIBILITY* меньше 20 метров, то будет считаться, что с самого начала развития пожара эвакуационные пути заблокированы.

Программа Fenix+ 3 позволяет для каждого регистратора определить индивидуальное значение критической видимости. Если для какого-то регистратора задать критическую видимость больше 30 метров, то этот регистратор будет считаться заблокированным с самого начала развития пожара при условии, что параметр *MAXIMUM_VISIBILITY* имеет значение по умолчанию, принятое в FDS (30 м). Поэтому, при формировании входного файла FDS программа Fenix+ 3 значение параметра *MAXIMUM_VISIBILITY* делает на 10 метров больше, чем максимальная критическая видимость регистраторов, но не менее 30 метров.

На рисунке ниже показаны графики изменения видимости при различных значениях параметра *VISIBILITY_FACTOR* (C) (2.38, 3, 3.78)

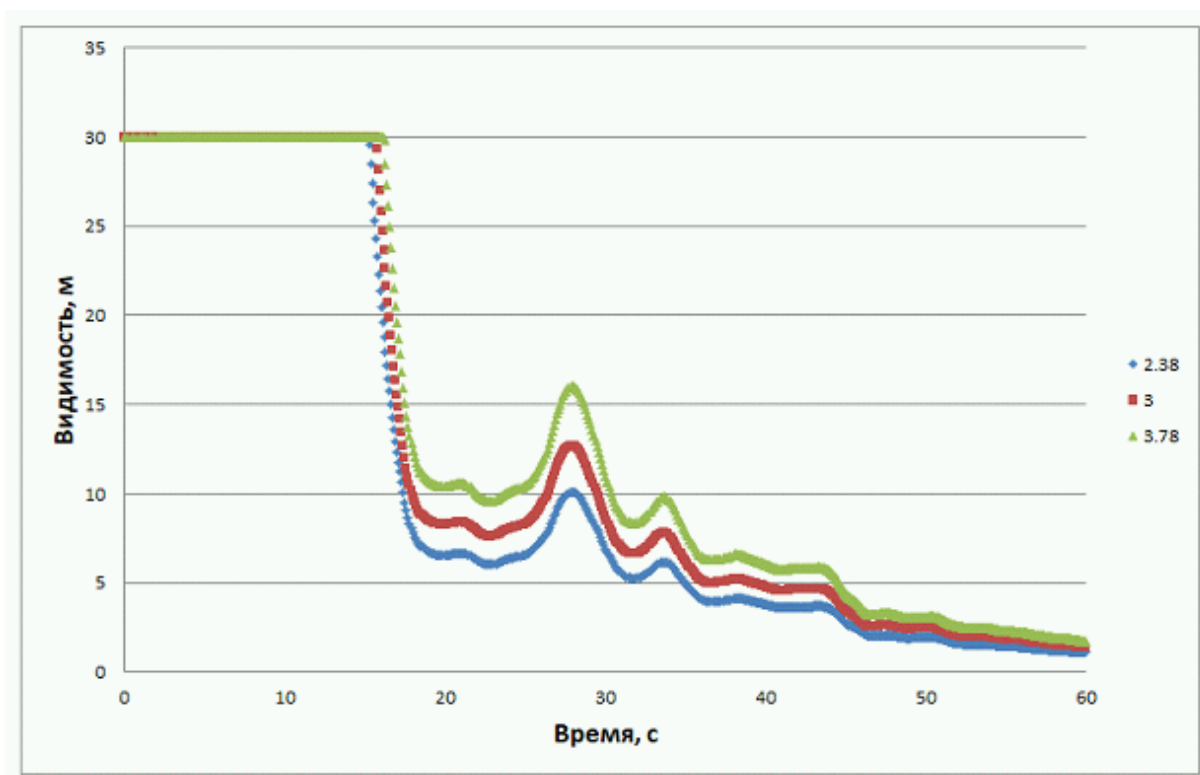


Рис. 70: Графики изменения видимости при различных значениях параметра *VISIBILITY_FACTOR*

Фактически, все эти графики получаются из одного путем растягивания по вертикали (вдоль оси «Видимость») пропорционально значению параметра *VISIBILITY_FACTOR*. Это означает, что изменение параметра *VISIBILITY_FACTOR* в определенное количество раз не приводит к соответствующему изменению времени, при котором видимость одна и та же.

Например, на рисунке выше параметры *VISIBILITY_FACTOR* последовательно увеличиваются в 1,26 раза (на 26%). Однако, при этом время, когда видимость падает до 20 метров, изменяется на порядок меньше. Если при *VISIBILITY_FACTOR*=2,38 оно составляет 16,2 с, то при *VISIBILITY_FACTOR*=3 составляет 16,6 с, а при 3,78 – 17,0. То есть, увеличение менее чем в 1,025 раза (на 2,5%).

В настоящее время в интерфейсе программы Fenix+ 3 нет возможности задать параметры *MAXIMUM_VISIBILITY* и *VISIBILITY_FACTOR*.

5.7. Тепловой поток на ограждающих конструкциях

Оценка достаточности Противопожарных расстояний производится, если выбран тип проекта «Противопожарные расстояния».

В таком проекте производится измерение теплового потока в Зданиях, не имеющих Очагов пожара и элементов с активированным свойством «В огне». При этом

тепловой поток измеряется на поверхности всех Элементов со свойством Материал (Материальных элементов).

Измерение теплового потока на поверхности элементов OBST, соответствующих Материальным элементам, активируется посредством группы параметров BNDF в файле FDS.

```
&BNDF QUANTITY='INCIDENT HEAT FLUX'/
```

Параметр QUANTITY группы параметров BNDF указывает, что будет производиться измерение теплового потока, падающего на поверхность.

По умолчанию, принятому в FDS, при указании группы параметров BNDF измерения будут происходить на всех поверхностях, присутствующих в расчётном домене. Чтобы отключить измерения на всех подряд поверхностях в группе параметров MISC указывается параметр BNDF_DEFAULT=.False.

```
&MISC BNDF_DEFAULT=.False./
```

Для активации измерений на конкретном элементе в группу параметров OBST добавляется параметр BNDF_OBST=.True.

```
&OBST FYI='Zдание 2 Stena 7' XB=9.5,10.5,22.5,23,0,5.8 SURF_ID='6' BNDF_OBST=.True./
```

Параметр FYI группы параметров OBST содержит название Здания и Материального элемента, к которому относится данный элемент OBST.

По окончании моделирования в Fenix+ 3 можно посмотреть график теплового потока для любого Материального элемента, на котором проводилось измерение. В каждый момент времени берётся максимальное значение потока по поверхности элемента.

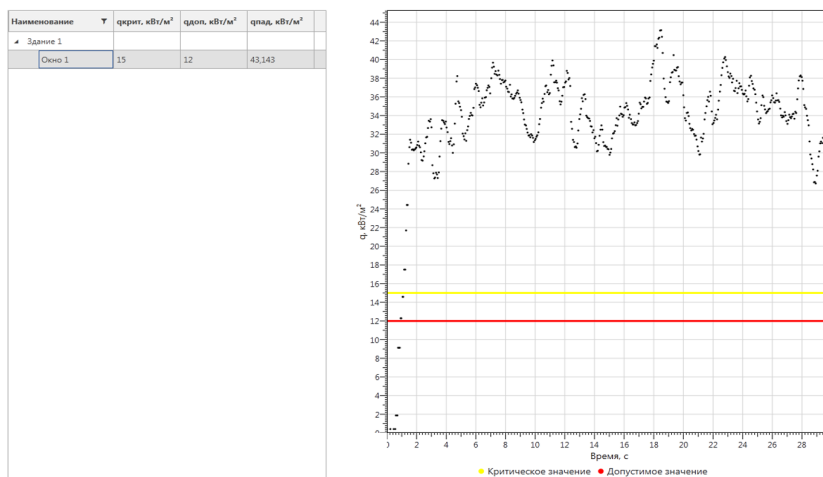


Рис. 71: График плотности теплового потока

Величина критической плотности теплового потока для Материала может быть задана в Редакторе веществ и материалов.

Название		Хвойные древесные стройматериалы	
<div> <div>Теплофизические свойства</div> <div>Пожароопасные свойства</div> <div>Дополнительно</div> </div>			
<div> <div>Горючий</div> <div>Негорючий</div> </div>			
Низшая теплота сгорания	13800	кДж/кг	
Линейная скорость распространения пламени	0,0585	м/с	
Удельная массовая скорость выгорания	0,0063	кг/(м² · с)	
Коэффициент полноты сгорания	0,93		
Дымообразующая способность	61	лп · м³/кг	
Потребление кислорода	1,15	кг/кг	
Выделение углекислого газа (CO₂)	1,57	кг/кг	
Выделение угарного газа (CO)	0,024	кг/кг	
Выделение хлористого водорода (HCl)	0	кг/кг	
Критическая плотность теплового потока	8	кВт/м²	

Рис. 72: Критическая плотность теплового потока

Критическое значение потока в оконном проёме, согласно [12], принимается равным 15 кВт/м².

Предельно допустимое значение теплового потока вычисляется, согласно [12], как 0.8 от критического значения.

6. Параметры моделирования

6.1. Время моделирования

Время расчёта задаётся на вкладке Общие Параметров моделирования пожара. В файле FDS оно определяется параметром T_END группы параметров TIME:

&TIME T_END=600/

Параметры моделирования пожара		
Сценарий 1		
Очаг пожара	Области расчета	Ветер
Общие	Начальные условия	Двери и окна
Время моделирования:		60 с

Рис. 73: Задание Времени моделирования

6.2. Многопоточное моделирование

Большинство современных процессоров (CPU - Central Processor Unit) являются многоядерными, то есть включают в свой состав несколько независимых физических ядер, которые могут работать одновременно. Кроме того, включение технологии «Hyper-threading» позволяет в 2 раза увеличить количество логических ядер, которые определяются операционной системой.

FDS может быть запущена в многопоточном режиме (т. е. с параллельной обработкой данных), когда вся работа разделяется между несколькими ядрами процессора одного компьютера, либо между процессорами нескольких компьютеров, объединенных в одну сеть.

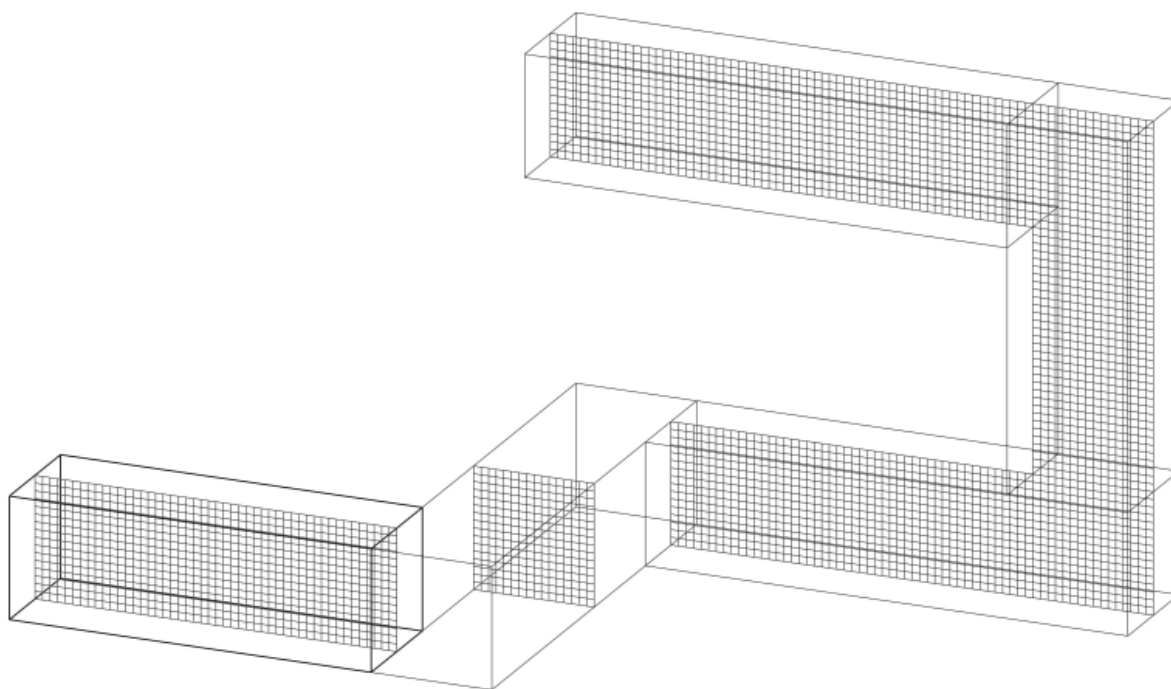
При увеличении числа потоков, как правило (но не всегда), растет производительность и сокращается время выполнения моделирования. Рост производительности может наблюдаться только если количество потоков не превышает число логических ядер.

Есть две технологии, позволяющие запустить FDS в многопоточном режиме, которые могут использоваться совместно:

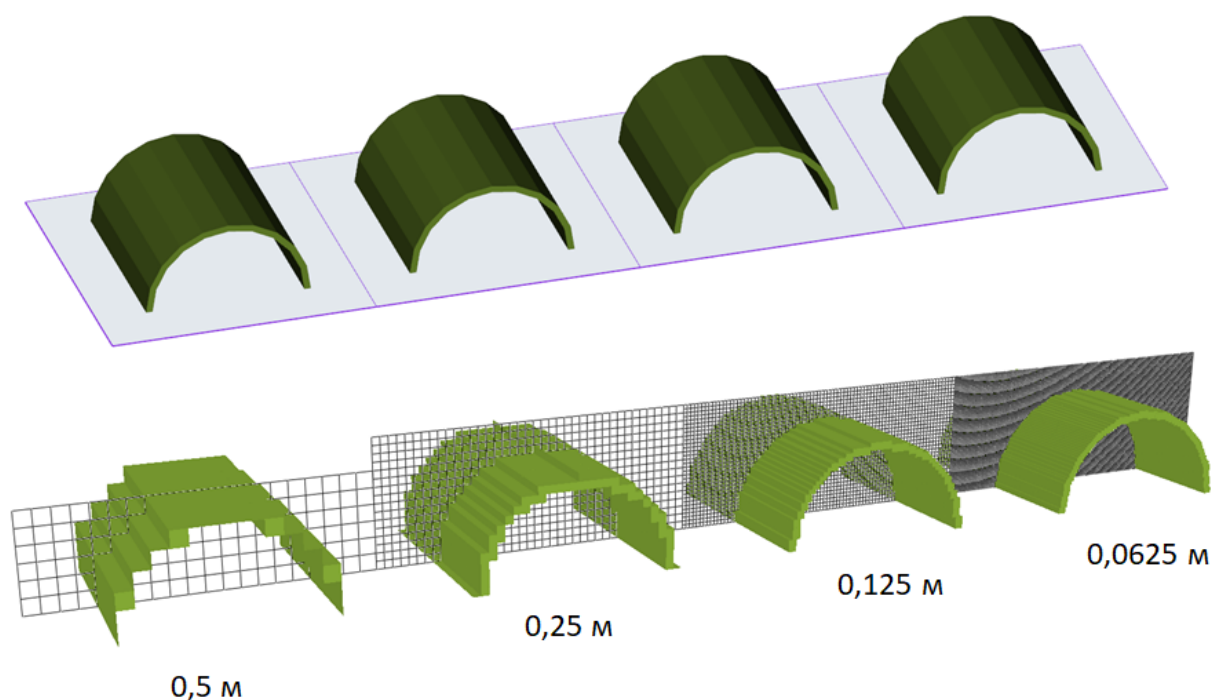
1. OpenMP (Open Multi-Processing). С помощью этой технологии возможно задействовать несколько ядер процессора компьютера, на котором осуществляется моделирование.
2. MPI (Message Passing Interface). С помощью этой технологии возможно задействовать несколько ядер процессора компьютера, на котором осуществляется моделирование, или процессоры нескольких компьютеров, находящихся в локальной сети.

Прежде чем перейти к разбору стратегии запуска FDS в Fenix+ 3, необходимо сказать несколько слов о том, как в FDS происходит моделирование.

Моделирование в FDS происходит в расчетном домене - объеме пространства, развитие пожара в котором интересует. Расчетный домен состоит из одного или нескольких элементарных объемов - сеток. Сетка - это объем пространства, имеющий форму прямоугольного параллелепипеда:



Каждая сетка делится на прямоугольные ячейки. Размер ячеек (и, соответственно, их количество) определяет насколько точно объекты будут представлены в FDS и насколько точнее будет проведено моделирование. Чем меньше размер ячейки, тем точнее объекты представляются в FDS:



Во входном файле для FDS каждая сетка представляется группой параметров MESH:

```
&MESH IJK=10,20,30 XB=0.0,1.0,0.0,2.0,0.0,3.0 /
```

где параметр IJK определяет количество ячеек, на которое делится сетка вдоль

каждой стороны, а ХВ определяет линейные размеры сетки. Соответственно, в примере выше сетка делится на 6000 (10*20*30) ячеек.

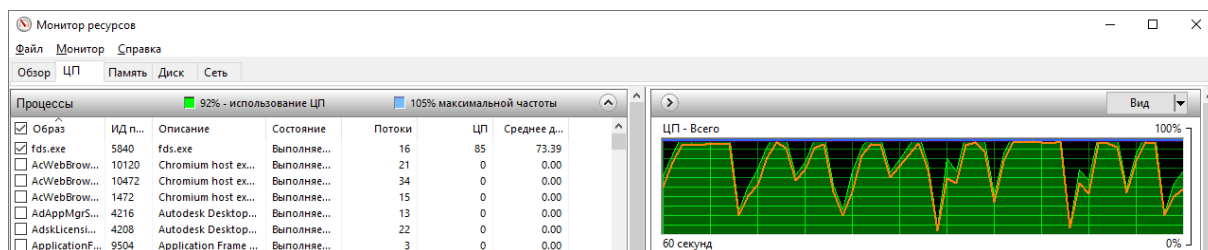
Количество ячеек в сетке - один из важнейших параметров, который определяет время выполнения моделирования. Чем больше количество ячеек, тем больше время выполнения моделирования.

Далее под размерами сетки подразумеваем не линейные размеры сетки, а количество ячеек в ней. То есть, “большая сетка” - это сетка с большим количеством ячеек.

6.2.1. Запуск в многопоточном режиме с помощью OpenMP

Чтобы использовать технологию OpenMP для многопоточного моделирования достаточно перед запуском FDS задать переменной окружения OMP_NUM_THREADS значение, равное желаемому количеству потоков.

После запуска FDS в многопоточном режиме с помощью технологии OpenMP в ОС Windows в программе “Монитор ресурсов” можно будет увидеть один процесс “fds” и несколько потоков, ассоциированных с ним:



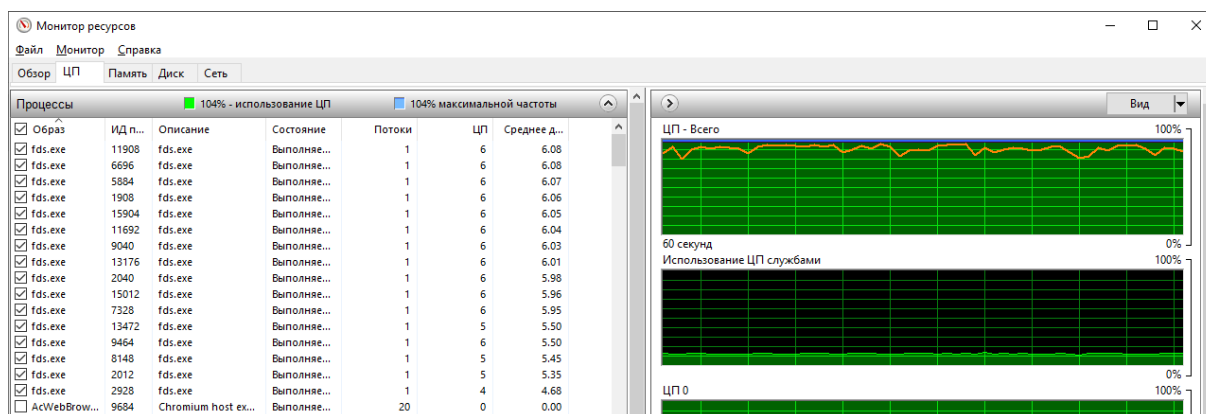
Если расчетный домен состоит из нескольких сеток, то они будут последовательно обрабатываться в рамках одного процесса.

6.2.2. Запуск в многопоточном режиме с помощью MPI

Чтобы использовать MPI для многопоточного моделирования весь расчетный домен должен быть разделен на несколько сеток. При этом каждая сетка обрабатывается одним MPI процессом, назначенным для нее. Кроме того возможно назначить нескольким сеткам один и тот же MPI процесс. Это полезно когда расчетный домен представлен несколькими большими сетками и множеством маленьких. Большие сетки будут обрабатываться собственными MPI процессами, в то время как несколько маленьких сеток будут обрабатываться одним и тем же MPI процессом. Обработка нескольких сеток одним MPI потоком позволяет сократить объем взаимодействия между MPI процессами. MPI процесс, который будет обрабатывать конкретную сетку, определяется параметром MPI_PROCESS группы параметров MESH:

```
&MESH ID='mesh1', IJK=..., XB=..., MPI_PROCESS=0 /
&MESH ID='mesh2', IJK=..., XB=..., MPI_PROCESS=1 /
&MESH ID='mesh3', IJK=..., XB=..., MPI_PROCESS=1 /
&MESH ID='mesh4', IJK=..., XB=..., MPI_PROCESS=2 /
&MESH ID='mesh5', IJK=..., XB=..., MPI_PROCESS=3 /
&MESH ID='mesh6', IJK=..., XB=..., MPI_PROCESS=3 /
```

После запуска FDS в многопоточном режиме с помощью MPI на одном компьютере в ОС Windows в программе “Монитор ресурсов” можно будет увидеть несколько процессов “fds”:



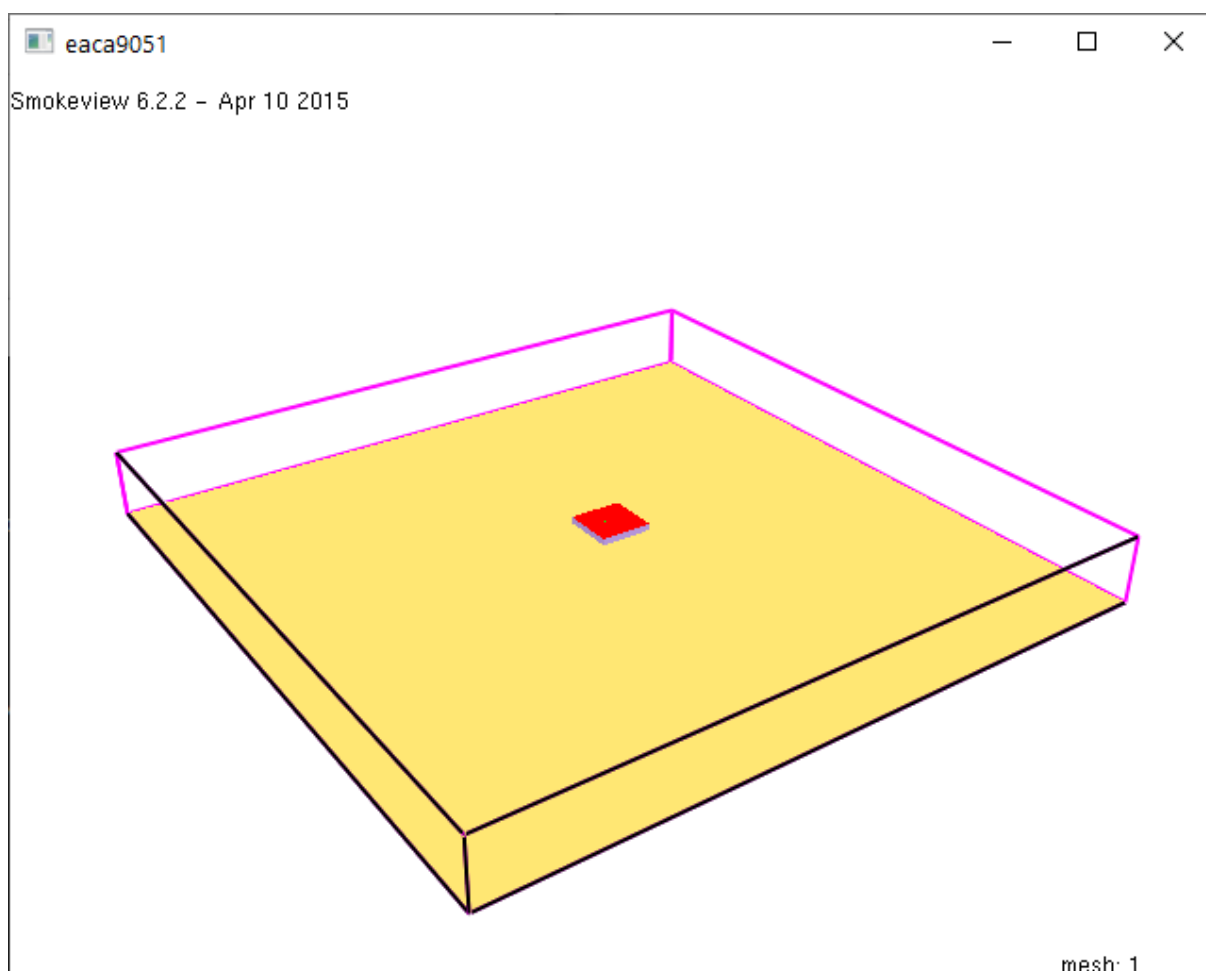
6.2.3. Сравнение ускорения моделирования с помощью OpenMP и MPI

Под словами “ускорение моделирования” будем подразумевать во сколько раз время выполнения моделирования в многопоточном режиме меньше времени выполнения моделирования без применения технологий многопоточной обработки.

Чтобы определить какая технология многопоточной обработки позволяет добиться наибольшего ускорения моделирования был рассмотрен следующий сценарий:

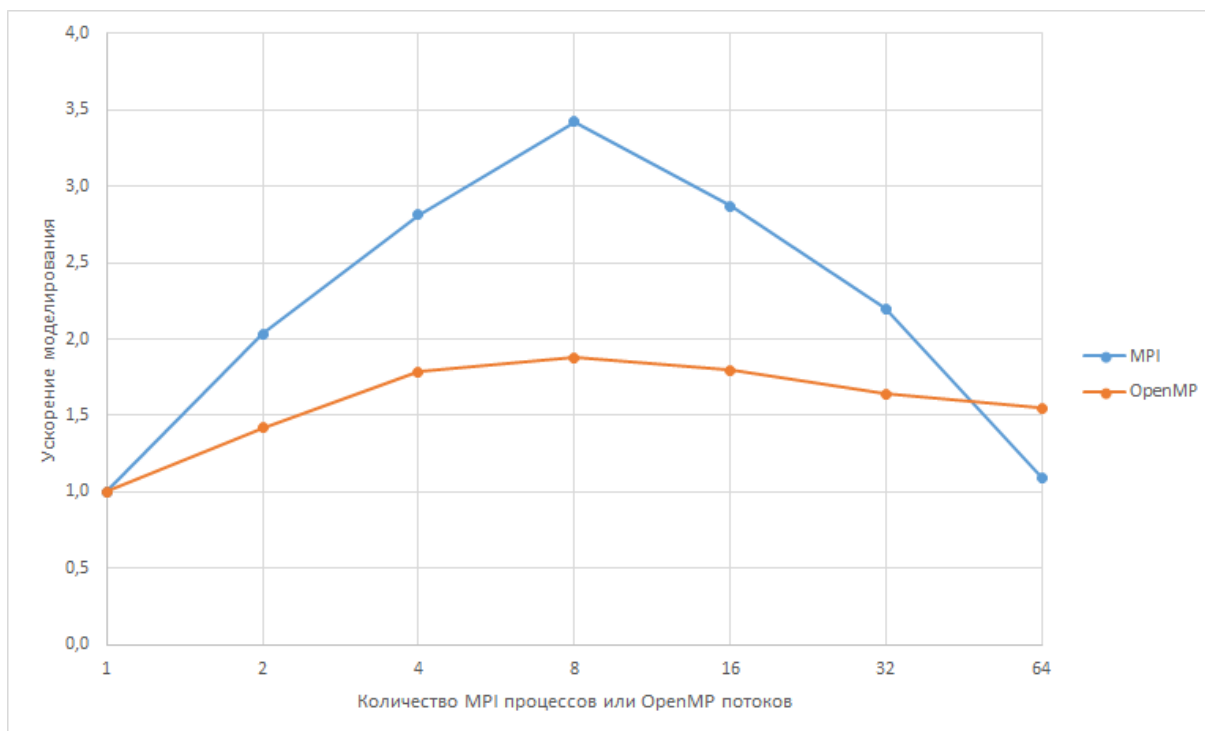
- расчетный домен представляет собой прямоугольный параллелепипед размерами 50*50*5 метров
- размер ячейки сетки равен 0,125 м
- в центре расчетного домена расположена пожарная нагрузка площадью 16 м. кв.
- время моделирования составляет 10 секунд
- при моделировании с применением MPI расчетный домен разбивался на одинаковые сетки, каждой из которых назначался свой MPI процесс.

То есть в расчетном домене для этого сценария 6400000 ячеек. Для моделирования этого сценария требуется примерно 6,6 Гб оперативной памяти.



Моделирование проводилось на компьютере с 8-ми ядерным процессором AMD Ryzen 7 2700 (16 логических процессоров). Время проведения моделирования составляло от 30 до 100 минут.

На графике ниже показано изменение ускорения моделирования с увеличением количества MPI процессов или OpenMP потоков.



Видно, что сначала увеличение количества потоков приводит к ускорению моделирования. Однако при количестве потоков больше 8-ми и для MPI и для OpenMP ускорение уменьшается. В первую очередь это связано с увеличением объема взаимодействия между процессами.

Полученный результат не означает, что для любого сценария при выполнении моделирования на любом процессоре оптимальное количество потоков равно 8-ми.

Можно лишь утверждать, что для рассмотренного сценария при проведении моделирования на таком процессоре оптимальное количество потоков равно 8-ми.

Для каждого сценария при моделировании на определенном процессоре оптимальное количество потоков будет разным. Оптимальное количество потоков зависит от размера сеток и их взаимного расположения, количества ядер процессора.

Бессмысленно задавать количество потоков для моделирования, превышающее количество логических ядер процессора. В этом случае ускорение гарантированно будет меньше максимально возможного.

Проведенный эксперимент показывает, что для ускорения моделирования целесообразнее использовать MPI. При этом нужно стремиться к тому, чтобы суммарный размер сеток, обрабатываемых каждым MPI процессом был примерно одинаков.

Вопросы запуска FDS, в том числе и в многопоточном режиме, используя MPI и OpenMP, подробно разобраны в руководстве пользователя FDS. Кроме того, в руководстве также рассматривается эффективность каждого подхода, где делается аналогичный вывод о предпочтительности MPI. Рекомендуем ознакомиться с ча-

стью 3 (Chapter 3 Running FDS) [руководства пользователя FDS](#) для получения дополнительной информации по этой теме.

6.2.4. Запуск FDS в многопоточном режиме в Fenix+ 3

Как было показано выше, предпочтительным способом запуска моделирования в многопоточном режиме является MPI. Именно с помощью MPI Fenix+ 3 запускает моделирование с использованием такого количества MPI процессов, которое пользователь задал в параметрах моделирования пожара для сценария. Перед запуском FDS Fenix+ 3 подготавливает входной файл для FDS таким образом, чтобы расчетный домен был разбит на необходимое количество сеток и каждой сетке был назначен свой MPI процесс. Далее остановимся подробнее на процедуре подготовки входного файла для многопоточного моделирования, знание которой позволит выбирать более оптимальное количество потоков для моделирования.

6.2.4.1. Алгоритм формирования групп MESH Для определения объема, в котором необходимо моделировать динамику развития пожара в Fenix+ 3 предназначен инструмент “Область расчета”. В сценарии можно разместить несколько областей расчета. Их размеры и другие параметры (размер ячейки, состояние открытых граней) могут быть разными. Расположение областей расчета друг относительно друга может быть абсолютно произвольным: они могут пересекаться, касаться или вообще не иметь общих точек.

В некотором роде, область расчета в сценарии проекта Fenix+ 3 соответствует сетке (группе MESH) во входном файле FDS. В простейших сценариях соответствие может быть однозначное. Но в общем случае соответствие лишь приблизительное, так как, например, одна область расчета может во входном файле FDS формировать несколько групп MESH или, даже наоборот, несколько областей расчета может преобразоваться в одну группу MESH.

Преобразование областей расчета в сетки состоит из следующих основных этапов:

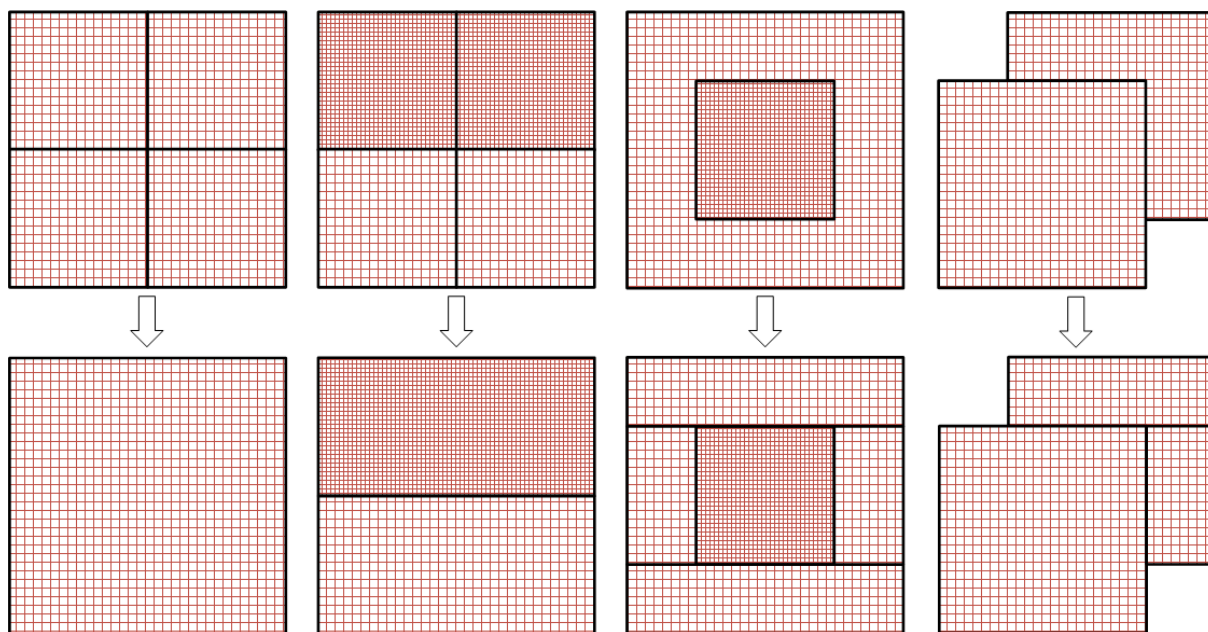
1. “Объединение”. Все области расчета с ячейкой одного размера по возможности объединяются в более крупные области. При этом:
 - устраняются пересечения областей расчета (это может приводить к некорректным результатам в области пересечения). Если пересекаются области с разными размерами ячейки, то из области с крупным размером ячейки исключается пересечение с областью расчета с мелким размером ячейки, а оставшаяся часть разбивается на несколько прямоугольных областей.

- увеличиваются области расчета в направлениях, где количество ячеек меньше 3 (этот случай очень редкий и на практике может возникнуть только из-за ошибки при размещении области расчета).
2. “Разбиение”. Если количество потоков, которое пользователь хочет использовать для моделирования, больше количества получившихся на первом этапе областей, то те из них, в которых больше всего ячеек, разбиваются пополам в направлении с наибольшим количеством ячеек. Разбиение прерывается, если:
- количество имеющихся областей равно или больше желаемого количества потоков.
 - границы областей, которые получились бы при разбиении самой крупной области, попадают на одну из групп VENT во входном файле FDS (группы VENT располагаются в месте расположения очага пожара или клапана дымоудаления)
 - больше нет MESH, которые можно разбить. После этого этапа получают области, полностью соответствующие сеткам во входном файле FDS. Так как разбиение может прерваться, то количество сеток может быть меньше желаемого количества потоков.
3. “Балансировка”. Всем получившимся сеткам назначается MPI процесс, который будет их обрабатывать. Для этого:
- выбирается самая крупная сетка, которой ещё не назначен MPI процесс.
 - выбирается MPI процесс, которому назначены для обработки сетки с наименьшим суммарным объемом.
 - выбранной сетке назначается выбранный MPI процесс.

6.2.5. Примеры формирования групп MESH

В примерах ниже предполагается, что в сценарии области расчета с размерами ячейки, отличающимися в два раза.

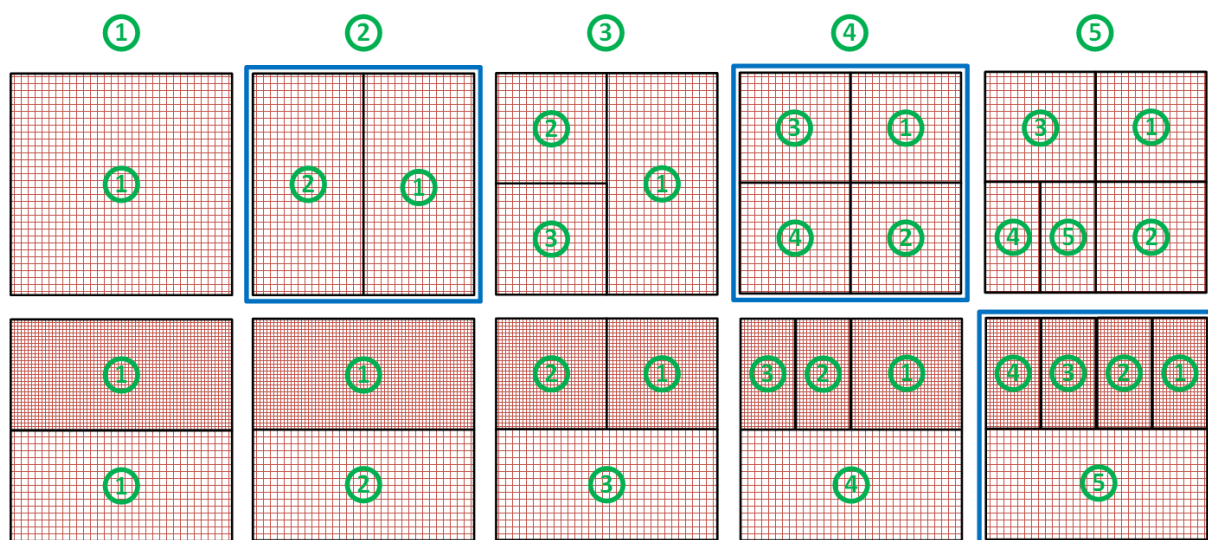
На примерах ниже показан результат выполнения этапа “Объединение” при формировании групп MESH для различных взаимных расположений областей расчета.



На следующих примерах показан результат выполнения этапов “Разбиение” и “Балансировка” для различного количества потоков моделирования (число сверху) в случае, если количество сеток после этапа “Разбиение” не превышает количество потоков.

Над каждой сеткой показан номер MPI процесса, который назначен для обработки этой сетки.

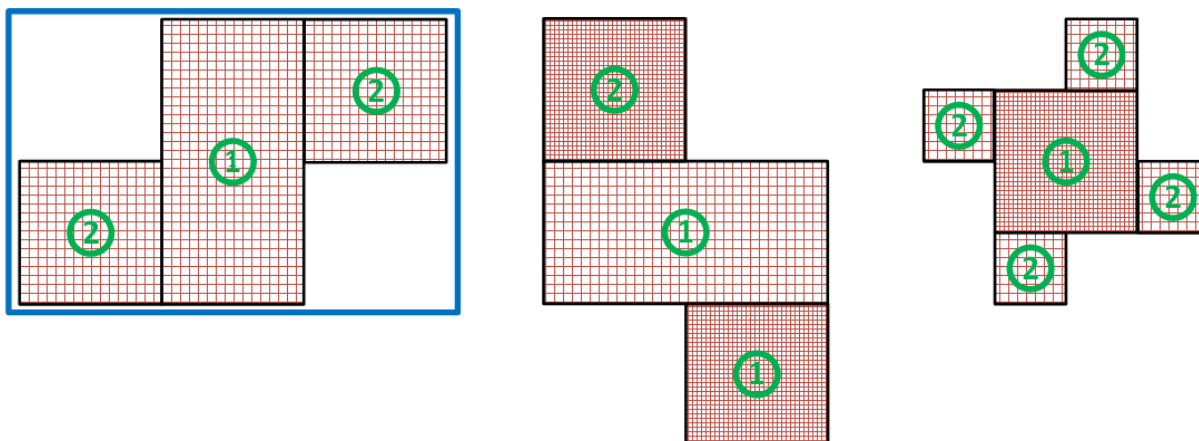
Синим квадратом обведены наиболее сбалансированные случаи когда каждый MPI поток обрабатывает сетки одинакового размера (с одинаковым количеством ячеек).



На следующих примерах показан результат выполнения этапа “Балансировка” для 2-х потоков моделирования в случае, когда количество сеток после этапа “Разбиение” превышает количество потоков.

Над каждой сеткой показан номер MPI процесса, который назначен для обработки этой сетки.

Синим квадратом обведены наиболее сбалансированные случаи когда каждый MPI поток обрабатывает сетки одинакового размера (с одинаковым количеством ячеек).



На всех примерах выше алгоритм формирования сеток показан в двумерном случае. Но, следует иметь в виду, что во всех трех направлениях алгоритм работает одинаково.

7. Дополнительные сведения

7.1. Молярная масса веществ

Таблица П1.1 Молярные массы некоторых веществ

Величина	Единица измерения	Значение
W_C	[г/моль]	12,0107
W_H	[г/моль]	1,00794
W_O	[г/моль]	15,9994
W_N	[г/моль]	14,0067
W_{Cl}	[г/моль]	35,453
W_{O_2}	[г/моль]	31,9988
W_{CO_2}	[г/моль]	44,0095
W_{CO}	[г/моль]	28,0101
W_{H_2O}	[г/моль]	18,01528
W_{HCl}	[г/моль]	36,46094
W_{Soot}	[г/моль]	10,91042

7.2. Литература

1. Приложение к Приказу МЧС России № 1140 от 14.11.2022г. «Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности».

2. Пособие по применению «Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности». 2-ое изд., испр. и доп. / А.А. Абашкин [и др.]. М.: ВНИИПО, 2014. – 226 с.
3. Приложение к Приказу МЧС России № 404 от 10.07.2009г «Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах».
4. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов. 2-ое изд., испр. и доп. / М.: ВНИИПО, 2019.
5. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering / Springer-Verlag New York, 2016.
6. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: Учебное пособие. — М.: Академия ГПС МВД России, 2000. — 118 С.
7. Проект FDS-SMV: <https://pages.nist.gov/fds-smv/>.
8. Документация и дистрибутивы FDS 6.8.0: <https://github.com/firemodels/fds/releases/tag/FDS-6.8.0>.
9. Рекомендации АВОК 5.5.1–2018 «Расчет параметров систем противодымной защиты жилых и общественных зданий». М.: АВОК-ПРЕСС, 2015. 96 с.
10. ГОСТ Р 53303-2009 Конструкции строительные. Противопожарные двери и ворота. Метод испытаний на дымогазопроницаемость.
11. FDS User's Guide <https://pages.nist.gov/fds-smv/manuals/>
12. СП 4.13130.2013 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям».
13. ГОСТ 26602.2-99. Блоки оконные и дверные. Методы определения воздухо- и водопроницаемости.
14. ГОСТ Р 59615-2021. Блоки оконные и балконные. Методы определения воздухо-, водопроницаемости и сопротивления ветровой нагрузке с использованием автоматизированного испытательного оборудования.
15. ГОСТ 23166-99. Блоки оконные. Общие технические условия.
16. ГОСТ 23166 – 2021. Конструкции оконные и балконные светопрозрачные ограждающие. Общие технические условия.