

**3531-40-ТР-1**

# **СИТИС: Блок 4.00**

**Техническое руководство**

**Редакция 1**

**21.10.2016**

## **АННОТАЦИЯ**

Данный документ является техническим руководством программы «СИТИС: Блок».

В документе приведены основные математические зависимости расчетного модуля программы, рекомендуемые границы возможного применения модели, показано соответствие модели положениям российским нормативным и методическим документам в области пожарной безопасности, описаны действия по обработке исходных данных и результатов расчетного модуля.

## **ВЕРСИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

Данное техническое руководство применимо к версиям программы «СИТИС: Блок», начиная с «СИТИС: Блок 4.00».

## **АВТОРСКОЕ ПРАВО**

© ООО «СИТИС», 2016 г.

ООО «СИТИС» предоставляет право бесплатных печати, копирования, тиражирования и распространения этого документа в сети Интернет и локальных и корпоративных сетях обмена электронной информацией. Не допускается взимание платы за предоставление доступа к этому документу, за его копирование и распечатывание. Не разрешается публикация этого документа любым другим способом без письменного согласия ООО «СИТИС».

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Аннотация.....	2
Версии программного обеспечения .....	2
Авторское право .....	2
Оглавление .....	3
1. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ .....	4
2. ОБОЗНАЧЕНИЯ .....	5
3. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ «СИТИС: БЛОК» .....	7
3.1. Общие данные.....	7
3.2. Расчет времени блокирования путей эвакуации .....	7
4. ЗОННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОЖАРА .....	8
4.1. Двухзонная модель .....	8
4.2. Основные уравнения движения газовой среды .....	8
4.1. Тепловыделение от очага пожара.....	9
4.2. Дым и токсичные продукты горения .....	10
4.3. Конвективная колонка.....	10
4.4. Истечение газовой среды через вертикальные проемы .....	11
4.1. Истечение газовой среды через горизонтальные проемы.....	12
4.2. Механическая вентиляция .....	12
4.3. Теплообмен газовой среды с ограждающими конструкциями .....	12
4.4. Излучение .....	13
4.5. Конвекция.....	14
5. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ДВУХЗОННОЙ МОДЕЛИ .....	15
5.1. Область применения .....	15
5.1. Соответствие техническому регламенту «О требованиях пожарной безопасности» .....	15
5.2. Соответствие техническому регламенту «О безопасности зданий и сооружений» .....	15
6. СРАВНЕНИЕ С ДРУГИМИ МОДЕЛЯМИ ПОЖАРА .....	17
6.1. Сравнение с интегральной моделью .....	17
6.1. Сравнение с полевой моделью .....	17
6.2. Таблица сравнения моделей .....	17
7. ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ .....	18
7.1. Описание.....	18
7.2. Геометрия .....	18
7.3. Мощность пожара .....	18
7.4. Проемность.....	19
7.5. Подсосы и перетоки .....	19
7.6. Излучение .....	19
7.7. Ограничения решателя программы.....	19
8. ТОЧНОСТЬ МОДЕЛИ .....	21
9. ПОСТОЯННЫЕ ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИ.....	22
10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА.....	24
11. ТРЕБОВАНИЯ К РЕСУРСАМ КОМПЬЮТЕРА.....	25
12. ОБЗОР СВЕДЕНИЙ О ВАЛИДАЦИИ МОДЕЛИ .....	26
13. ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ .....	27
14. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	28

## 1. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

- 1.1. **двухзонная модель** — математическая модель расчета тепломассопереноса при пожаре, в основе которой лежит выделение двух контрольных объемов
- 1.2. **валидация** — документированное доказательство достоверности метода [5]
- 1.3. **верификация** — документированное доказательство достоверности полученного результата [5]
- 1.4. **источник зажигания** — средство энергетического воздействия, инициирующее возникновение горения [1]
- 1.5. **качественный анализ** — выявление тенденций и закономерностей на основе обобщения существующей практики
- 1.6. **количественный анализ** — определение численных характеристик процессов и объектов, расчет
- 1.7. **концептуальная модель** — абстрактная модель, определяющая структуру моделируемой системы, свойства её элементов и причинно-следственные связи, присущие системе и существенные для достижения цели моделирования
- 1.8. **математическая модель** — упрощенное отображение зависимостей и закономерностей реальных объектов и явлений в математической форме
- 1.9. **Методика** — «Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности», утвержденная приказом МЧС № 382 от 30.06.09 г. [2] с учетом изменений, внесенных приказами МЧС №749 от 12.12.2011 [14], № 632 от 02.12.15 [15]
- 1.10. **модель** — упрощенное отображение зависимостей и закономерностей реальных объектов и явлений в форме, удобной для решения определенных задач;
- 1.11. **модель СИТИС:Блок** — двухзонная модель расчета тепломассопереноса при пожаре, реализованная в программе СИТИС:Блок
- 1.12. **модель Методики** — двухзонная модель расчета тепломассопереноса при пожаре, описанная в Приложении 6 Методики
- 1.13. **необходимое время эвакуации** — время с момента возникновения пожара, в течение которого люди должны эвакуироваться в безопасную зону без причинения вреда жизни и здоровью людей в результате воздействия опасных факторов пожара [1]
- 1.14. **опасные факторы пожара (ОФП)** — факторы пожара, воздействие которых может привести к травме, отравлению или гибели человека и (или) к материальному ущербу [1]
- 1.15. **очаг пожара** — место первоначального возникновения пожара [1]
- 1.16. **пожарный риск** — мера возможности реализации пожарной опасности объекта защиты и ее последствий для людей и материальных ценностей [1]
- 1.17. **модель ОФП программы** — набор данных, описывающий входные параметры для моделирования распространения ОФП в данном здании (создается в расчетной программе)
- 1.18. **расчетная точка** — точка в здании, которая используется для указания в сценарии, что для нее следует получить результаты расчета в расчетной программе. В расчетной точке выполняется сравнение времени эвакуации и времени блокирования [6]
- 1.19. **система противопожарной защиты** — комплекс организационных мероприятий и технических средств, направленных на защиту людей и имущества от воздействия ОФП и (или) ограничение последствий воздействия ОФП на объект защиты (продукцию) [1]

## 2. ОБОЗНАЧЕНИЯ

2.1.1.	A	Площадь помещения, м <sup>2</sup>
2.1.2.	A <sub>w</sub>	Площадь проема, м <sup>2</sup>
2.1.3.	B	Ширина проема, м
2.1.4.	C(T)	Теплоемкость материала конструкции при температуре T, Дж кг <sup>-1</sup> К <sup>-1</sup>
2.1.5.	c <sub>p</sub>	Удельная теплоемкость дыма, Дж К <sup>-1</sup> кг <sup>-1</sup>
2.1.6.	D	Диаметр очага пожара, м
2.1.7.	D <sub>m</sub>	Дымообразующая способность горючего материала, Нп м <sup>-2</sup> кг <sup>-1</sup>
2.1.8.	F(t)	Зависимость площади источника пожара от времени, м <sup>2</sup>
2.1.9.	g	Ускорение свободного падения, м с <sup>-2</sup>
2.1.10.	G <sub>k</sub>	Массовый расход дыма через конвективную колонку, кг с <sup>-1</sup>
2.1.11.	G <sub>p</sub>	Массовый расход дыма через открытые проемы в помещении, кг с <sup>-1</sup>
2.1.12.	H	Высота помещения, м
2.1.13.	H <sub>f</sub>	Низшая теплота сгорания, МДж/кг
2.1.14.	L <sub>i</sub>	Массовый выход i-ого токсичного продукта горения, кг/кг
2.1.15.	Lox	Потребление кислорода при сгорании единицы массы горючего материала, кг/кг
2.1.16.	m	Общая масса дыма в задымленной зоне, кг
2.1.17.	m <sub>L</sub>	Общая масса незадымленной зоны, кг
2.1.18.	m <sub>i</sub>	Масса i-ого токсичного продукта горения в задымленной зоне, кг
2.1.19.	m <sub>k</sub>	Масса кислорода в задымленной зоне, кг
2.1.20.	$q_U^*$	Скорость приращения тепла для задымленного слоя, кВт
2.1.21.	$q_L^*$	Скорость приращения тепла для незадымленного слоя, кВт
2.1.22.	$q''$	Тепловой поток, кВт/м <sup>2</sup>
2.1.23.	$q''_R$	Лучистый тепловой поток, кВт/м <sup>2</sup>
2.1.24.	$q''_C$	Конвективный тепловой поток, кВт/м <sup>2</sup>
2.1.25.	$q''_{in}$	Падающий лучистый тепловой поток, кВт/м <sup>2</sup>
2.1.26.	$q''_{out}$	Исходящий лучистый тепловой поток, кВт/м <sup>2</sup>
2.1.27.	Q <sub>з</sub>	Энтальпия продуктов горения в задымленной зоне, кДж
2.1.28.	Q	Мощность очага пожара, кВт
2.1.29.	Q <sub>C</sub>	Конвективная составляющая мощности очага пожара, кВт
2.1.30.	Q <sub>R</sub>	Лучистая составляющая мощности очага пожара, кВт
2.1.31.	Q <sub>к</sub>	Тепловая мощность, вносимая в задымленную зону конвективной колонкой, кВт
2.1.32.	Q <sub>кон</sub>	Тепловая мощность, теряемая в конструкции, кВт
2.1.33.	Q <sub>п</sub>	Тепловая мощность, удаляемая с дымом через открытые проёмы, кВт
2.1.34.	Q <sub>н</sub>	Низшая теплота сгорания, кДж/кг
2.1.35.	Q <sub>нO<sub>2</sub></sub>	Низшая теплота сгорания, приведенная к потреблению кислорода, кДж/кг
2.1.36.	P	Давление, Па
2.1.37.	P <sub>0</sub>	Давление на нулевой отметке, Па
2.1.38.	r	Расстояние от центра конвективной колонки, м
2.1.39.	S	Оптическое количество дыма, Нп м <sup>2</sup>
2.1.40.	t	Время, с
2.1.41.	T	Температура среды в задымленной зоне, К
2.1.42.	T <sub>L</sub>	Температура среды в незадымленной зоне, К
2.1.43.	T <sub>0</sub>	Температура среды у необогреваемой поверхности, К
2.1.44.	T <sub>i</sub> (y)	Прогрев i-ой конструкции по толщине y, К
2.1.45.	T <sub>c</sub>	Температуры горячей струи, К
2.1.46.	T <sub>w</sub>	Температура обогреваемой части конструкции, К
2.1.47.	T <sub>∞</sub>	Температура окружающей среды, К
2.1.48.	V	Объем помещения, м <sup>3</sup>
2.1.49.	V <sub>д</sub>	Объем задымленной зоны, м <sup>3</sup>
2.1.50.	V <sub>L</sub>	Объем незадымленной зоны, м <sup>3</sup>

2.1.51.	$x_i$	Массовая концентрация $i$ -ого токсичного продукта горения в задымленной зоне, кг/кг
2.1.52.	$x_k$	Массовая концентрация кислорода, кг/кг
2.1.53.	$Y_{O_2}$	Массовая доля кислорода в задымленной зоне
2.1.54.	$z$	Переменная высоты, м
2.1.55.	$z_0$	Высота виртуального источника пожара, м
2.1.56.	$Z$	Высота нижней границы слоя дыма, м
2.1.57.	$Z_i$	Текущая высота нижней границы слоя дыма в $i$ -ом помещении, с
2.1.58.	$\alpha$	Коэффициент поглощения, м <sup>-1</sup>
2.1.59.	$\alpha_k$	Конвективный коэффициент теплоотдачи, Вт м <sup>-2</sup> К <sup>-1</sup>
2.1.60.	$\alpha_p$	Лучистый коэффициент теплоотдачи, Вт м <sup>-2</sup> К <sup>-1</sup>
2.1.61.	$\gamma$	Показатель адиабаты
2.1.62.	$\delta$	Толщина ограждающей конструкции, м
2.1.63.	$\varepsilon$	Коэффициент излучения
2.1.64.	$\zeta$	Аэродинамический коэффициент проема
2.1.65.	$\lambda(T)$	Теплопроводность материала конструкции при температуре $T(y)$ , Вт м <sup>-1</sup> К <sup>-1</sup>
2.1.66.	$\mu$	Оптическая плотность дыма, Нп м <sup>-1</sup>
2.1.67.	$\eta$	Коэффициент полноты сгорания, кг/кг
2.1.68.	$\rho$	Плотность дыма при температуре $T$ , кг м <sup>-3</sup>
2.1.69.	$\rho_L$	Плотность незадымленного слоя при температуре $T$ , кг м <sup>-3</sup>
2.1.70.	$\rho_0$	Плотность воздуха при начальной температуре $T_0$ , кг м <sup>-3</sup>
2.1.71.	$\rho_2$	Плотность дыма в задымленной зоне соседнего помещения при температуре дыма $T$ , кгм <sup>-3</sup>
2.1.72.	$\rho_\infty$	Плотность окружающей среды, кг м <sup>-3</sup>
2.1.73.	$\rho$	Коэффициент отражения
2.1.74.	$\sigma$	Постоянная Стефана-Больцмана
2.1.75.	$\tau$	Коэффициент прохождения
2.1.76.	$\chi_R$	Доля тепла от пламени, идущая на излучение
2.1.77.	$\psi$	Скорость выгорания горючего материала, кг с <sup>-1</sup>
2.1.78.	$\psi_{уд}$	Удельная скорость выгорания горючего материала, кг с <sup>-1</sup> м <sup>2</sup>

### 3. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ «СИТИС: БЛОК»

#### 3.1. Общие данные

- 3.1.1. Программа «СИТИС: Блок 4» предназначена для расчета времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара согласно Приложения №6 *Методики* [2,14,15].

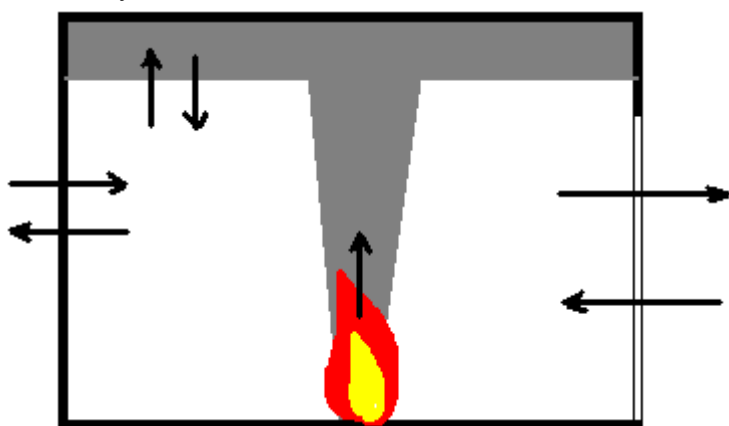
#### 3.2. Расчет времени блокирования путей эвакуации

- 3.2.1. Программа «СИТИС: Блок» предназначена для расчета времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара согласно Приложения №6 *Методики* [2,14,15] с использованием зонной модели динамики опасных факторов пожара.
- 3.2.2. Решатель программы разработана на основании адаптированной ООО «СИТИС» модели CFAST версии 6 (Consolidated Fire Growth and Smoke Transport Model, единая модель развития пожара и перемещения дыма), созданной пожарным исследовательским отделом Национального института стандартов и технологии США [11]. Адаптация выполнена в соответствии с положениями лицензии на указанную программу.
- 3.2.3. При адаптации программы выполнены изменения в обозначениях и размерностях физических величин, расчетные зависимости изложены в форме, принятой в отечественной нормативной и технической литературе, программный код и «замороженные» версии программ хранятся в ООО «Ситис» на территории РФ, осуществляется техническая поддержка пользователей. Выполняются письменные ответы на запросы по вопросам использования программы.

## 4. ЗОННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОЖАРА

### 4.1. Двухзонная модель

- 4.1.1. Зонная модель тепломассопереноса при пожаре предполагает деление каждого расчетного помещения на два контрольных объема (зоны) — верхний (дымовой) слой и нижний слой. Дополнительными контрольными объемами в помещении могут являться конвективная колонка и припотолочная струя. В пределах каждой зоны температурные и другие поля параметров газовой среды считаются однородными.
- 4.1.2. Многочисленные натурные пожарные испытания подтвердили, что зонные модели демонстрируют достаточно достоверную картину пожара: горячие дымовые газы скапливаются под потолком, образуя дымовой слой, и параметры внутри слоя отличаются незначительно по сравнению с различием параметров между верхними и нижними слоями.
- 4.1.3. Зонная модель расчета тепломассопереноса при пожаре позволяет прогнозировать параметры продуктов горения (температуру, снижение видимости, концентрацию токсичных продуктов горения) и их распространение по зданию.
- 4.1.4. Схема двухзонной модели



- 4.1.5.
- 4.1.6. Основа зонной модели — система обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих законы сохранения массы и энергии. Эти уравнения отражают всю совокупность взаимосвязанных и взаимообусловленных процессов, присущих пожару, таких как тепловыделение в результате горения, дымовыделение в пламенной зоне, изменение оптических свойств газовой среды, выделение и распространение токсичных газов, газообмен помещений с окружающей средой и со смежными помещениями, теплообмен и нагревание ограждающих конструкций, снижение концентрации кислорода в помещении. Параметры среды в каждой зоне — искомые функции, независимый аргумент — время. Также искомыми функциями являются координаты, определяющие положение границ характерных зон (в первую очередь, высоту дымового слоя).

### 4.2. Основные уравнения движения газовой среды

- 4.2.1. Динамика основных интегральных параметров задымленной зоны определяется интегрированием системы следующих балансовых уравнений:
- 4.2.2. — Общая массы компонентов задымленной зоны с учетом дыма, вносимого в зону конвективной колонкой и дыма удаляемого через проемы в соседние помещения:
- 4.2.3. 
$$\frac{dm}{dt} = G_K - G_{\Pi}$$
- 4.2.4. — Энтальпия компонентов задымленной зоны с учетом тепла, вносимого в зону конвективной колонкой, теплоотдачи в конструкции и уноса дыма в проемы:
- 4.2.5. 
$$\frac{dQ}{dt} = Q_K - Q_{\Pi} - Q_{\text{конт}}$$
- 4.2.6. — Масса кислорода с учетом потерь на окисление продуктов пиролиза горючих веществ:
- 4.2.7. 
$$\frac{dm_{\text{ox}}}{dt} = 0,23(G_K - \eta \cdot \psi \cdot L_{\text{ox}}) - X_{\text{Ox}} G_{\Pi}$$



4.2.8. — Оптическое количество дыма с учетом дымообразующей способности горящего материала:

$$\frac{dS}{dt} = \psi \cdot D_m - G_{II} \cdot \frac{\mu}{\rho},$$

4.2.9.

4.2.10. — Масса i-го токсичного продукта горения:

$$\frac{dm_i}{dt} = \psi \cdot Li - xi G_{II}$$

4.2.12. Данная система дифференциальных уравнений выражает законы сохранения массы, энергии, компонентов газовой среды без учета таких явлений, как турбулентность, перенос тепла излучением и др.).

4.2.13. В программе уравнения сформулированы относительно других независимых переменных: температура верхнего и нижнего слоя, давление, объем дымового слоя.

4.2.14. Эквивалентные уравнения записываются в следующем виде:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{\gamma - 1}{V} (q_L + q_U)$$

$$\frac{dV_D}{dt} = \frac{1}{\gamma P} \left[ (\gamma - 1) q_U - V_D \frac{dP}{dt} \right]$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{c_p m} \left[ q_U - c_p m T + V_D \frac{dP}{dt} \right]$$

$$\frac{dT_L}{dt} = \frac{1}{c_p m_L} \left[ q_L - c_p m_L T_L + V_L \frac{dP}{dt} \right]$$

4.2.19. Для решения получившейся системы дифференциальных уравнений используется дифференциальный/алгебраический решатель DASSAL [17,18].

#### 4.1. Тепловыделение от очага пожара

4.1.1. Динамика параметров очага пожара определяется развитием площади горения с учетом сложного состава горючих материалов, их расположения, места возникновения очага пожара и полноты сгорания:

$$Q = \eta \cdot \psi_{уд} \cdot Q_n \cdot F(t)$$

4.1.2.

4.1.3. Данное уравнение описывает выделение тепла при сгорании горючей нагрузки на определенной площади. Площадь горения зависит от времени.

4.1.4. В программе кривая скорости тепловыделения от источника пожара задается пользователем в исходных данных.

4.1.5. Программа позволяет моделировать несколько источников горения в одном или нескольких помещениях. Источники рассчитываются полностью автономно, их взаимодействие не учитывается. Источники могут активироваться по заданному времени, или при достижении температурой или тепловым потоком заданной величины.

4.1.6. Тепловыделение от сгорания топлива ограничивается наличием доступного кислорода. Полное сгорание происходит только при его достаточном количестве. Если кислорода недостаточно, не-сгоревшее топливо распространяется через задымленные зоны из помещения в помещение, и может сгорать при достаточно высокой температуре и количестве кислорода в верхней зоне или в наружных проемах.

$$Q = \min(\psi \cdot Q_n, \dot{m}_k \cdot Y_{o_2} \cdot C_{LOL} \cdot Q_{нO_2})$$

4.1.8. Тепловыделение имеет конвективную и лучистую составляющую:

$$Q_R = \chi_R Q$$

$$Q_C = (1 - \chi_R) Q,$$

4.1.11. Конвективная энергия  $Q_C$  является движущей силой струй дыма.

4.1.12. Уравнение для скорости тепловыделения является источником членом в основных уравнениях и решается с использованием дифференциального/алгебраического решателя DASSAL.

## 4.2. Дым и токсичные продукты горения

4.2.1. В процессе горения происходит выделение в домен дыма и токсичных продуктов горения от источника пожара.

4.2.2. Законы сохранения массы дыма и токсичных компонентов формулируются следующим образом:

4.2.3. — Масса кислорода с учетом потерь на окисление продуктов пиролиза горючих веществ:

$$4.2.4. \frac{dm_{ox}}{dt} = 0,23(G_K - \eta \cdot \psi \cdot L_{ox}) - X_{ox} \cdot G_{II}$$

4.2.5. — Оптическое количество дыма с учетом дымообразующей способности горящего материала:

$$4.2.6. \frac{dS}{dt} = \psi \cdot D_m - G_{II} \cdot \frac{\mu}{\rho},$$

4.2.7. — Масса i-го токсичного продукта горения:

$$4.2.8. \frac{dm_i}{dt} = \psi \cdot Li - xi G_{II}$$

4.2.9. Данные уравнения выражают законы сохранения массы отдельных компонентов газовой среды.

4.2.10. В программе закон сохранения массы для каждого компонента имеет следующий вид:

$$4.2.11. \frac{dm_i}{dt} = m_i^*$$

4.2.12. где источниковый член включает в себя поступление рассчитываемого компонента от источника горения и приток/отток компонента из других помещений.

4.2.13. В программе поступление от источника пожара токсичных продуктов и дыма рассчитывается через определение реакции горения, включающей основные продукты горения углеводного топлива.

4.2.14.



4.2.15.



4.2.16. где стехиометрические коэффициенты  $V_{O_2}, V_{CO_2}$  и т.д. показывают молярные соотношения стехиометрического баланса уравнения.

4.2.17. Расчетными величинами являются CO<sub>2</sub>, CO, вода, кислород, сажа. Азот участвует в уравнении только как растворитель. Хлористый и цианистый водород отслеживаются через заданные пользователем объемы выделения. Сгорание CO до CO<sub>2</sub> в модель не включено.

4.2.18. Для решения получившейся системы дифференциальных уравнений используется дифференциальный/алгебраический решатель DASSAL.

## 4.3. Конвективная колонка

4.3.1. Масса компонентов дыма  $G_K$ , вносимых в задымленную зону конвективной колонкой, оценивается с учетом количества воздуха, вовлекаемого в конвективную колонку по всей ее высоте до нижней границы слоя дыма. В инженерных расчетах расход компонентов дыма через осесимметричную конвективную колонку на высоте нижнего уровня задымленной зоны  $Z$  (в зависимости от того, какая область конвективной колонки или факела погружена в задымленную зону) задается полуэмпирической формулой:

$$G_K = \begin{cases} 0,011 \cdot Q \cdot \left(\frac{Z}{Q^{2/5}}\right)^{0,566} & \text{для области факела} \\ 0,026 \cdot Q \cdot \left(\frac{Z}{Q^{2/5}}\right)^{0,909} & \text{для переходной области} \\ 0,124 \cdot Q \cdot \left(\frac{Z}{Q^{2/5}}\right)^{1,895} & \text{для области колонки} \end{cases}$$

4.3.2.

4.3.3. Данное уравнение описывает поступление дыма от конвективной колонки в задымленный дымовой слой.

4.3.4. В программе массовый расход через конвективную колонку на высоте  $z$  над высотой источника пожара рассчитывается с использованием соотношения Хескестада [20]:

$$4.3.5. \quad G_k(z) = 0.196 \cdot \left( \frac{g \rho_\infty^2}{c_p T_\infty} \right)^{1/3} Q_c^{1/3} (z - z_0)^{5/3} \left( 1 + \frac{2.9 \cdot Q_c^{2/3}}{(\sqrt{g c_p \rho_\infty T_\infty})^{2/3} (z - z_0)^{5/3}} \right)$$

4.3.6. где  $z_0$  – виртуальный источник, определяемый через характеристический размер пожара:

$$4.3.7. \quad \frac{z_0}{D} = -1.02 + 1.4 \cdot Q^{*2/5}$$

$$4.3.8. \quad Q^* = \frac{Q}{\rho_\infty c_p T_\infty \sqrt{g} D^{5/2}}$$

4.3.9. Уравнение для конвективной колонки является источником членом в основных уравнениях и решается с использованием дифференциального/алгебраического решателя DASSAL.

#### 4.4. Истечение газовой среды через вертикальные проемы

4.4.1. Тепловые и массовые потоки через проем в каждый момент времени рассчитываются с учётом текущего перепада давления по высоте проема, состава и температуры газовой среды по обе стороны проема (схема расчета на рисунке ниже). Так, массовый расход дыма из помещения очага пожара в соседнее помещение рассчитывается следующим образом:

$$G_{II} = B \cdot \xi \cdot \int_{Y_{\min}}^{Y_{\max}} \sqrt{2 \cdot \rho \cdot (P(h) - P_2(h))} \cdot dh$$

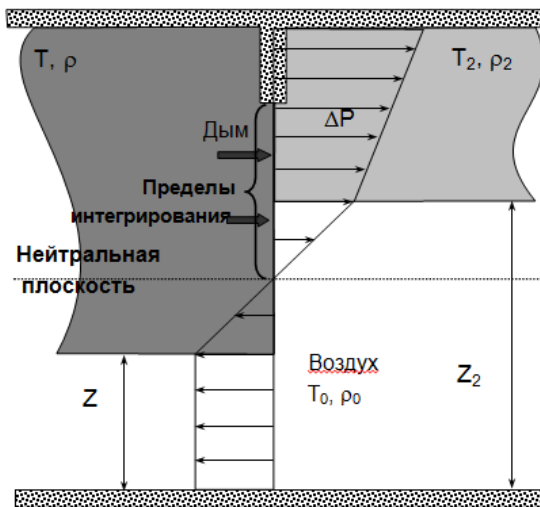
4.4.2.

4.4.3. где  $B$  — ширина проема, м;

4.4.4.  $\xi$  — аэродинамический коэффициент проема

4.4.5.  $P(h) - P_2(h)$  — разница давлений в помещениях на высоте  $h$ ;

4.4.6.  $\rho$  — плотность дыма в задымленной зоне соседнего помещения при температуре дыма  $T$ .



4.4.7.

4.4.8. Пределы интегрирования  $Y_{\max}$  и  $Y_{\min}$  выбираются в пределах створа проема, слоя дыма помещения очага пожара и там, где избыточное давление  $\Delta P = (P(h) - P_2(h)) > 0$ .

4.4.9. Необходимая для оценки перепада давления по створу проема зависимость давления от высоты в  $i$ -ом помещении (с учетом задымленной зоны этого помещения) оценивается как:

$$4.4.10. \quad P_i(h) = \begin{cases} P_{i0} - \rho_0 \cdot g \cdot h & \text{если } h \leq Z_i \\ P_{i0} - \rho_0 \cdot g \cdot Z_i - \rho_i \cdot g \cdot h & \text{если } h > Z_i \end{cases}$$

4.4.11.

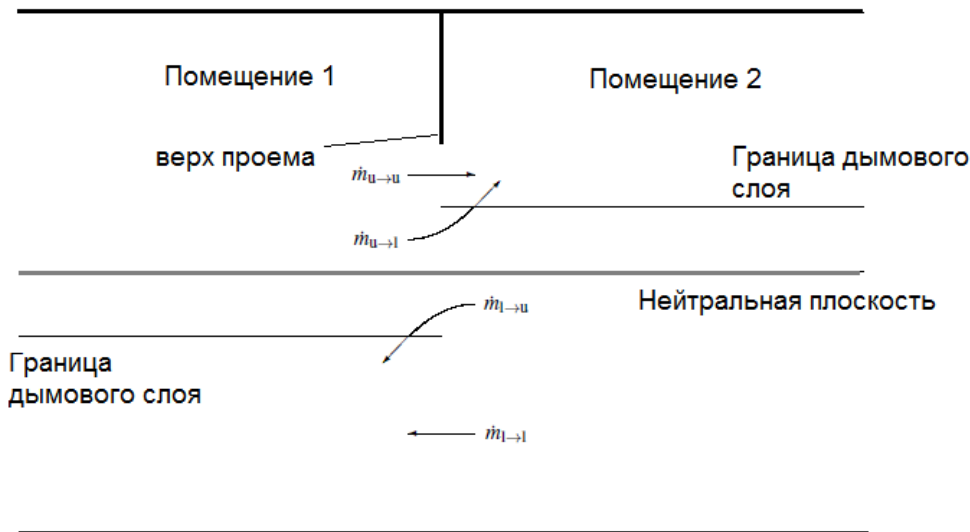
4.4.11. где  $P_{i0}$  — текущее давление в  $i$ -ом помещении на нулевой отметке (или приведенное к нулевой отметке, если уровень пола помещения выше нулевой отметки);

4.4.12.  $\rho_0$  — плотность воздуха при начальной температуре  $T_0$ ;

4.4.13.  $Z_i$  — текущая высота незадымленной зоны в  $i$ -ом помещении.

4.4.14. Рассчитанные параметры теплообмена в проеме используются как граничные условия для соседнего помещения

- 4.4.15. Данные зависимости описывают движение дыма через вертикальные проемы (окна, двери).
- 4.4.16. В программе массовый расход газа через вертикальный проем при естественной вентиляции определяется вертикальным распределением давления в проеме. Для расчета расхода проем разделяется на сегменты, каждый из которых ограничен верхним или нижним краем проема, границей дымового слоя каждого помещения или нейтральной плоскостью, где скорость меняет направление.



- 4.4.17.   
 4.4.18. Массовый расход через каждый сегмент:

$$4.4.19. \quad G_{II} = C \cdot B \cdot \int_{y_{\min}}^{y_{\max}} \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta P(h)} \cdot dh = \frac{2}{3} C \cdot B \cdot \sqrt{2\rho} \cdot (y_{\max} - y_{\min}) \frac{|\Delta P(y_{\max})| + \sqrt{|\Delta P(y_{\max})\Delta P(y_{\min})|} + |\Delta P(y_{\min})|}{\sqrt{|\Delta P(y_{\max})|} + \sqrt{|\Delta P(y_{\min})|}}$$

- 4.4.20. где  $c$  — коэффициент пропускания, равный 0,7.

#### 4.1. Истечение газовой среды через горизонтальные проемы

- 4.1.1. В программе для горизонтальных проемов используются полуэмпирические соотношения Купера, представляющие зависимость объемного расхода от разницы давления и температуры:

$$4.1.2. \quad Gn(up) = 0.68 \cdot A_v \sqrt{2 \cdot |\max(\Delta P, 0)| \cdot \rho_L} + \dot{V}_{ex}$$

$$4.1.3. \quad Gn(down) = 0.68 \cdot A_v \sqrt{2 \cdot |\min(\Delta P, 0)| \cdot \rho} + \dot{V}_{ex}$$

$$4.1.4. \quad \dot{V}_{ex} = 0.1 \left( \frac{g \Delta \rho A_v^{5/2}}{\rho_{avg}} \right)^{1/2} \left( 1 - \frac{|\Delta P|}{|\Delta P_{flood}|} \right), \quad |\Delta P| < |\Delta P_{flood}| \equiv \frac{C_s^2 g \Delta \rho D^5}{2 A_v^2}$$

- 4.1.5. где  $D = 2\sqrt{A_v/\pi}$ ,  $C_s$  равен 0,754 для круглого отверстия и 0,942 для квадратного.

- 4.1.6. Если температура дымового слоя нижнего помещения выше температуры незадымленного слоя верхнего посещения, то дым попадает в дымовой слой верхнего помещения, в противном случае – в нижний.

#### 4.2. Механическая вентиляция

- 4.2.1. Механическая вентиляция в программе задается пользователем в виде объемного расхода в каждом вентиляционном отверстии.
- 4.2.2. характеристики вентиляторов и влияние размеров и протяженности воздуховодов в программе не моделируются не моделируется.

#### 4.3. Теплообмен газовой среды с ограждающими конструкциями

- 4.3.1. Потери тепла в ограждающие конструкции рассчитываются с учетом температуры горячей струи  $T_s$ , скорости и излучательной способности струи, омывающей конструкции и прогрева самой i-ой

конструкции  $T_i(y)$  по толщине  $y$ . Для этого численно интегрируется нестационарное уравнение Фурье:

$$\frac{\partial T_i(y)}{\partial \tau} = \frac{1}{C(T) \cdot \rho} \cdot \frac{\partial \lambda(T) \cdot \partial T_i(y)}{\partial^2 \cdot y},$$

4.3.2.

4.3.3. с граничными и начальными условиями:

$$(\alpha_k + \alpha_l) \cdot (T_c - T_w) = -\lambda_w \cdot \left. \frac{\partial T_i(y)}{\partial y} \right|_{y=0},$$

4.3.4.

$$(\alpha_k + \alpha_l) \cdot (T_0 - T_i(\delta)) = -\lambda(T) \cdot \left. \frac{\partial T_i(y)}{\partial y} \right|_{y=\delta},$$

4.3.5.

$$T_i(0, y) = T_0, \quad 0 \leq y \leq \delta,$$

4.3.6.

4.3.7. Данные уравнения описывают передачу тепла от газовой среды в конструкции.

4.3.8. В программе температура стены обновляется на каждом временном шаге, пока тепловой поток поверхности (вычисляемый по алгоритмам конвекции и излучения), не совпадет с тепловым потоком, получаемым по закону Фурье

$$q'' = -k \frac{dT}{dx}$$

4.3.9.

4.3.10. Уравнение теплопроводности по нормали к твердой поверхности:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{k}{\rho \cdot c} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial^2 x}$$

4.3.11.

4.3.12. Граничные условия для стен:

$$T_w(0, t) = T_w$$

4.3.13.

4.3.14. В программе можно учитывать теплофизические свойства ограждающих конструкций. Пользователь должен помнить, что механические свойства материалов могут меняться при изменении температуры, но эти эффекты не моделируются.

4.3.15. Теплопередача в конструкции рассчитывается в нормальном направлении к поверхности, с использованием не-равномерно распределенных пространственных узлов. Для решения пространственных производных используется центрально-разностные схемы второго порядка точности.

#### 4.4. Излучение

4.4.1. Излучение является важной частью энергетического баланса, особенно вблизи огня (в помещении пожара). Лучистый теплообмен рассчитывается исходя из температуры стен и газового слоя, тепловыделения от огня и коэффициента излучения. Для расчета излучения в каждой зоне решается тепловой баланс для всех поверхностей, которые поглощают или выделяют энергию в зону.

4.4.2. Для расчета излучения используются следующие допущения:

4.4.2.1. зоны и поверхности выделяют и поглощают тепло как серые тела;

4.4.2.2. огонь излучает как точечный источник;

4.4.2.3. дымовая струя не излучает.

4.4.3. В модели используются следующие допущения:

4.4.3.1.— изотермичность — температура в пределах зоны газа или поверхности одинакова

4.4.3.2.— равновесие — зоны и поверхности находятся в квази-стабильном состоянии, то есть меняются медленно за время шага расчета

4.4.3.3.— точечный источник — излучает одинаково во всех направлениях долю энергии  $\chi_r$  от полной энергии. Обратное излучение и излучение от дымовой струи не моделируется

4.4.3.4.— рассеивающие и серые поверхности — излучение независимо от направления и длины волны.

Для твердых поверхностей соотношение между испусканием  $\epsilon$ , поглощением  $a$  и отражением  $\rho$ :

$\varepsilon = a = 1 - \rho$ . В газовой фазе соотношение между испусканием  $\varepsilon$ , поглощением  $a$  и прохождением  $\tau$ :  $\varepsilon = a = 1 - \tau$

4.4.3.5. — геометрия — помещения предполагаются прямоугольными параллелепипедами. Каждая стена параллельна или перпендикулярна другой стене. Излучение через проемы «теряется» из помещения.

4.4.4. Помещения разделяется на четыре поверхности: потолок, пол, стена в задымленной зоне, стена в незадымленной зоне. Исходящий лучистый поток с поверхности  $i$  имеет следующий вид:

$$4.4.5. \quad q''_{out,i} = \sigma \varepsilon_i T_i^4 + (1 - \varepsilon_i) q''_{in,i}$$

4.4.6. Падающий лучистый поток:

$$4.4.7. \quad q''_{in,i} = \left( \sum_{j=1}^4 q''_{out,j} F_{i-j} \tau_{j-i} \right) + c''_i$$

$$4.4.8. \quad c''_i = \sum_{j=1}^2 \varepsilon_j F_{i-j} \sigma T_j^4 + \frac{\omega_{i-f}}{A_i} \frac{\chi_r Q}{4\pi}$$

4.4.9. Полный лучистый тепловой поток на поверхности:

$$4.4.10. \quad q''_{r,i} = q''_{in,i} - q''_{out,i}$$

4.4.11. Система линейных уравнений для расчета излучения решается численными методами.

#### 4.5. Конвекция

4.5.1. Конвективный поток к поверхности рассчитывается по формуле:

$$4.5.2. \quad q''_c = \alpha_k (T - T_w)$$

4.5.3. где  $h$  — конвективный коэффициент, который зависит от скорости газа, температуры и свойств. В программе используются простейшие соотношения для естественной конвекции:

$$4.5.4. \quad \alpha_k = C |T - T_w|^{1/3}$$

4.5.5. где  $C$  — эмпирический коэффициент (1,52 для пола и потолка (без припотолочной струи), 1,31 для стен).

4.5.6. При движении струи горячих газов вдоль потолка (в начале пожара) используется эмпирическое соотношение из руководства SFPE [19]:

$$4.5.7. \quad q''_{Ci} = 1.323 f \frac{Q_C}{H^2} \left( \frac{r}{H} \right)^{-1.36}$$

4.5.8. Средний тепловой поток по всему потолку:

$$4.5.9. \quad q''_{C,avg} = \frac{1}{A} \int_0^{2\pi R} \int_0^R q''_c r dr d\theta = \frac{0.27 Q_C}{A^{0.68} H^{0.64}}$$

$$4.5.10. \quad \alpha_k = \max \left( \frac{q''_{c,avg}}{T - T_w}, C \cdot |T - T_w|^{1/3} \right)$$

## 5. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ДВУХЗОННОЙ МОДЕЛИ

### 5.1. Область применения

- 5.1.1. Зонная модель программы может быть использована:
- 5.1.1.1. — для оценки динамики опасных факторов пожаров в жилых, общественных и промышленных зданиях и сооружениях;
  - 5.1.1.2. — для расчета индивидуального пожарного риска в жилых, общественных и промышленных зданиях и сооружениях;
  - 5.1.1.3. — для расчетного определения параметров противопожарных систем — противодымной естественной и/или механической вентиляции, пожарной сигнализации и т.п.
  - 5.1.1.4. — для других задач в области пожарной безопасности — при инженерном обосновании
- 5.1.2. В соответствии с *Методикой* [2] зонный метод описания пожара в здании может быть применен:
- 5.1.2.1. — для помещений и систем помещений простой геометрической конфигурации, линейные размеры которых соизмеримы между собой (линейные размеры помещения отличаются не более чем в 5 раз), когда размер очага пожара существенно меньше размеров помещения (для помещения, один из линейных размеров которого более чем в пять раз превышает хотя бы один из двух других линейных размеров, необходимо это помещение делить на участки, размеры которых соизмеримы между собой, и рассматривать участки как отдельные помещения, сообщающиеся проемами, площадь которых равна площади сечения на границе участков);
  - 5.1.2.2. — для рабочих зон, расположенных на разных уровнях в пределах одного помещения (наклонный зрительный зал кинотеатра, антресоли и т.д).
- 5.1.3. Результаты, получаемые с помощью двухзонной модели пожара, могут быть практически применимыми в том случае, когда в газовой среде с достаточной степенью достоверности можно выделить две зоны: верхнюю с горячими газами (дым) и нижнюю, свободную от горячих газов. Такое состояние характерно для локальных пожаров достаточной мощности, а также для начальной стадии объемных пожаров, когда характерные размеры очага пожара значительно меньше характерных размеров помещений.

### 5.1. Соответствие техническому регламенту «О требованиях пожарной безопасности»

- 5.1.1. В соответствии со ст. 6 №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» порядок проведения расчетов по оценке пожарного риска определяется нормативными правовыми актами Российской Федерации – методиками определения расчетных величин пожарного риска.
- 5.1.2. «Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности, утвержденная приказом МЧС России от 30.06.09 г. № 382 (с учетом изменений от 12.12.2011 №749 и 02.12.2015 № 632)» разрешает использование двухзонной модели для определения времени блокирования путей эвакуации. Основные расчетные зависимости для двухзонной модели приведены в приложении 6 *Методики*. Пункт 33 главы IV «Методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» (Приложение к Приказу МЧС России от 10.07.2009 N 404 в ред. Приказа МЧС России от 14.12.2010 № 649)» разрешает использовать методы, содержащиеся в методиках определения расчетных величин пожарного риска, для определения времени блокирования эвакуационных путей.
- 5.1.3. Расчетные зависимости, реализованные в программе СИТИС: Блок, соответствуют расчетным зависимостям, приведенным в «Методике определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности, утвержденная приказом МЧС России от 30.06.09 г. № 382 (с учетом изменений от 12.12.2011 №749 и 02.12.2015 №632)»

### 5.2. Соответствие техническому регламенту «О безопасности зданий и сооружений»

- 5.2.1. В соответствии с ст. 15 п. 6 Технического регламента «О безопасности зданий и сооружений», для подтверждения выполнения требований технического регламента могут использоваться расчеты по методикам, сертифицированным или апробированным другим способом, а также моделирова-

ние сценариев возникновения опасных процессов и оценка риска природных и техногенных воздействий

- 5.2.2. Методика, использованная в программе, является апробированной, поскольку соответствует двухзонной модели, приведенной в утвержденной методике к техническому регламенту «О требованиях пожарной безопасности»



## 6. СРАВНЕНИЕ С ДРУГИМИ МОДЕЛЯМИ ПОЖАРА

### 6.1. Сравнение с интегральной моделью

- 6.1.1. Интегральная модель предполагает однородные параметры газовой среды в каждом помещении.
- 6.1.2. Такое приближение работает в случае, когда источник пожара соизмерим с размером помещения, и достигается достаточное перемешивание газовой среды, чтобы считать параметры однородными.

### 6.1. Сравнение с полевой моделью

- 6.1.1. Полевая модель предполагает разбиение пространства расчетного домена на большое количество контрольных объемов (ячейки сетки), в каждом из которых параметры газовой среды считаются однородными. Вследствие такого разбиения полевая модель не требует априорных допущений о характере газовой среды в помещении, благодаря чему для полевой модели отсутствуют ограничения, накладываемые на интегральную и двухзонную модели.
- 6.1.2. Однако в полевой модели необходимо наличие не менее трех ячеек сетки в зоне интересующего явления (вентиляционное отверстие, припотолочная струя и т.д.) для корректного выполнения расчета, что приводит к необходимости мелкой сетки и длительного расчета.

### 6.2. Таблица сравнения моделей

#### 6.2.1. Сравнительная таблица

6.2.1.

Параметр	Интегральная модель	Двухзонная модель	Полевая модель
Моделирование пожара в отдельном помещении простой геометрической конфигурации	да	да	да
Моделирование пожара в отдельном помещении сложной геометрической конфигурации	нет	Да-если помещение можно представить соизмеримым объемом прямоугольной формы Нет – для сложных помещений, в т.ч. с наклонными перекрытиями	Да
Моделирование пожара в системе помещений простой геометрической конфигурации для задач огнестойкости	да	да	да
Моделирование пожара в системе помещений простой геометрической конфигурации для задач блокирования путей эвакуации	нет	да	да
Моделирование очага пожара, соизмеримого с размерами помещения	да	нет	да
Моделирование очага пожара, существенно меньше размеров помещения	нет	да	да Требуется мелкая расчетная сетка
Моделирование очага пожара, соизмеримого с меньшим размером помещения	да	нет	да
Моделирование тонких дымовых слоев (примерно менее 1/8 - 1/10 высоты помещения)	нет	да	Да Требуется мелкая сетка, не менее 3 ячеек по толщине дымового слоя
Моделирование потока воздуха через вертикальные проемы (двери, окна)	да	да	Да Необходимо не менее 3-5 ячеек сетки по каждому размеру проема, через который газообмен.
Моделирование потока воздуха через горизонтальные проемы (люки, отверстия в перекрытии, вентиляционные каналы)	Да	да	Да Необходимо не менее 3-5 ячеек сетки по каждому размеру проема, через которые происходит газообмен
Специальные требования к квалификации специалиста, выполняющего расчет, кроме изучения технической документации к модели	нет	нет	Да Требуется знания в вычислительной гидродинамике, моделировании горения и

## 7. ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

### 7.1. Описание

- 7.1.1. Для выполнения расчета рассматриваемые здания и сооружения представляются в виде системы помещений, соединенными проемами, источников пожаров, дымоприемных отверстий и устройств, систем подпора воздуха. С учетом теоретических основ зонной модели и экспериментальных оценок при валидационных натуральных испытаниях, программа дает решение с достаточной инженерной точностью (10-25%) при описанных параметрах рассчитываемой модели. При других параметрах исходных данных возможность применения должна быть рассмотрена дополнительно.

### 7.2. Геометрия

- 7.2.1. В рассчитываемой модели помещения должны быть простой геометрической конфигурации, в которых четко образуются слои — дымовой слой, конвективная колонка и т.п. Помещения должны быть прямоугольными призмами с соизмеримыми размерами, или с достаточной достоверностью представляться такими помещениями.
- 7.2.2. В помещениях не должно быть значительных выступающих частей (как правило не более 1/10-1/15 высоты помещения), препятствующих движению дымового слоя под потолком.
- 7.2.3. В случае, если горизонтальные размеры, длина и ширина значительно отличаются, то есть, когда помещение подобно коридору, то движение дымового слоя становится несимметричным. Если помещение узкое и высокое, то возникает возможность неравномерного прогрева. Когда размер конвективной колонки на некоторой высоте становится соизмерим с длиной или шириной помещения, то зависимости зонной модели становятся неприменимы.
- 7.2.4. В модели программы при длине помещения более 5 его ширин используются экспериментальные зависимости распространения дымового слоя по коридорам. При высоте помещения более 6 размеров ширины, например для лестничных клеток и лифтов, используются экспериментальные зависимости для шахт. Ниже приведены рекомендуемые параметры для размеров помещений.
- 7.2.5.  $L$  — длина,  $W$  — ширина,  $H$  — высота

	Хорошее выполнение зависимостей зонной модели	Рекомендуется представление помещения как системы из двух помещений, соединенных проемом	Используется уточняющий алгоритм для коридора или шахты
7.2.6.	$L/W < 3$	$3 < L/W < 5$	$5 < L/W$
7.2.7.	$L/H < 3$	$3 < L/H < 6$	$6 < L/H$
7.2.8.	$W/H > 0,4$	$0,2 < L/H < 0,4$	$L/H < 0,2$

### 7.3. Мощность пожара

- 7.3.1. Модель не учитывает аспекты, связанные с распространением пламени. Скорость тепловыделения источников пожара задается пользователем. Модель ограничивает скорость тепловыделения в зависимости от доступного количества кислорода.
- 7.3.2. В модели также есть ограничение на мощность пожара на основе экспериментальных данных. Тепловыделение не должно превосходить  $1 \text{ MBm/m}^3$  поскольку в этом случае двухзонное приближение становится неприменимым.

- 7.3.3. С другой стороны, при расчете пожаров небольшой мощности может не формироваться дымовой слой, описываемый зонной моделью. Примером такой ситуации является дым от горящей сигареты в обычной комнате, когда мощности «пожара» недостаточно для формирования дымового слоя во всей комнате. Считается, что если температура дымового слоя отличается от температуры помещения менее чем на 1 градус, то мощность расчетного пожара может быть недостаточной для формирования слоев зонной модели, и должна быть выполнена дополнительная оценка применимости зонной модели и рассмотрена вероятность стратификации («зависания») дымового слоя.

#### 7.4. Проемность

- 7.4.1. Для каждого отдельного помещения соотношение площади проемов между помещениями и проемов (дымоприемных устройств) естественной вентиляции к объему помещения не должно превышать  $2 \text{ м}^2/\text{м}^3$ . Для больших значений зависимость движения воздуха и дыма через отверстия может не соответствовать предпосылкам зонной модели.

#### 7.5. Подсосы и перетоки

- 7.5.1. Перетоки между помещениями при пожаре через неплотности дверных и оконных проемов, систем вентиляции являются важным фактором при моделировании пожаров, особенно для высотных зданий и зданий, где возможно влияние ветра (например, для случая дымоудаления через отверстие в стене или кровле без механического побуждения). Не учет влияния этих факторов в модели рассматриваемого пожара может значительно снизить точность полученных результатов и привести к неверной оценке ситуации.
- 7.5.2. Помещения в модели программы являются герметичными, что не согласуется с реальными зданиями. Соответственно, необходимо создавать неплотности искусственно. Неплотности могут моделироваться небольшими проемами, расположенными на внешних границах помещений. Во избежание влияния данных проемов на поведение дымового слоя, их рекомендуется задавать небольшой высоты и вблизи от пола.

#### 7.6. Излучение

- 7.6.1. Излучение от пожара моделируется излучением точечного источника. Это ограничивает точность модели в близости от источника пожара.
- 7.6.2. Обмен излучением между помещениями не моделируется.

#### 7.7. Ограничения решателя программы

	Параметр	Максимальное значение
7.7.1.	Время расчета (часа)	24
7.7.2.	Максимум помещений	30
7.7.3.	Максимум источников горения	31
7.7.4.	Максимум источников горения в базе данных	30
7.7.5.	Максимум точек в описании одного источника горения	21
7.7.6.	Максимум материалов в теплотехнической базе данных	125
7.7.7.	Максимальное число слоев в одном материале в базе данных	3
7.7.8.	Максимум выходов механической вентиляции	60
7.7.9.	Максимум соединений между отсеками и отверстиями механической вентиляции	62
7.7.10.	Максимум независимых систем механической вентиляции	15
7.7.11.	Максимум мишеней (CFAST включает в число мишеней пол каждого помещения и каждый объект)	90

7.7.12.	Максимум точек в выходном табличном файле	900
7.7.13.	Максимальная мощность источника пожара	1 МВт/м <sup>3</sup>
7.7.14.	Максимальное отношение площади вентиляционных отверстий в помещении к объему помещения	2 м <sup>-1</sup>
7.7.15.	Максимальная длина помещения	100 м
7.7.16.	Минимальная длина помещения	0,5 м

## 8. ТОЧНОСТЬ МОДЕЛИ

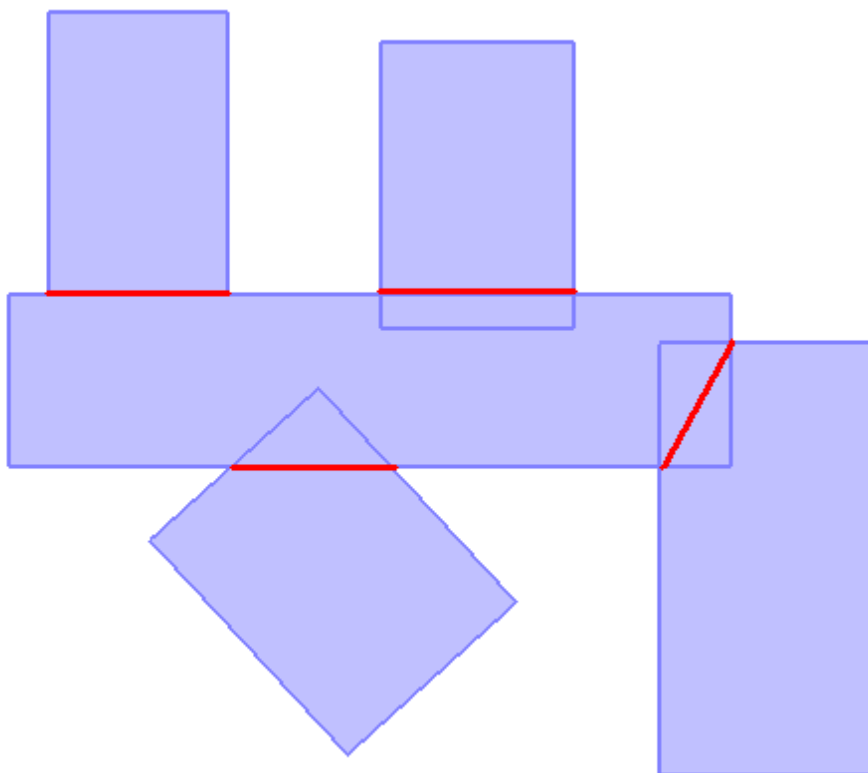
- 8.1. Точность модели зависит от точности и детальность задания входных данных, и особенно чувствительна к заданной скорости тепловыделения.
- 8.2. Исследования показывают, что предсказания модели обычно находятся в пределах 10— 25 % от результатов экспериментов. В основном этого достаточно для расчетов пожарной безопасности и оценки пожарного риска.

## 9. ПОСТОЯННЫЕ ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИ

9.1. Постоянные параметры зонной модели, заданные в программе:

	Параметр	Значение, автоматически передаваемое в CFAST
9.2.	<b>Параметры окружающей среды</b>	
9.3.	Давление	101300 Па
9.4.	Относительная влажность	62 %
9.5.	Скорость ветра	0
9.6.	Высота измерительной станции	10
9.7.	Коэффициент для расчета скорости ветра как функция высоты	0,16
9.8.	<b>Параметры проемов</b>	
9.9.	Угол ветра (вертикальный проем)	0
9.10.	Форма горизонтального проема	круглая
9.11.	<b>Параметры источника пожара</b>	
9.12.	Расположение источника пожара	по центру помещения
9.13.	Алгоритм расчета пламени	Маккефри
9.14.	Нормаль к источнику пожара	вверх
9.15.	Алгоритм расчета припотолочной струи	Ceiling & Walls
9.16.	Процент кислорода, при котором прекращается горение	10 %
9.17.	Температура вспышки	120 С
9.18.	Высота источника	1 м
9.19.	Молярная масса топлива	0,016 кг/моль
9.20.	Масса топлива	1 кг
9.21.	Теплота сгорания	13 800 кДж/кг

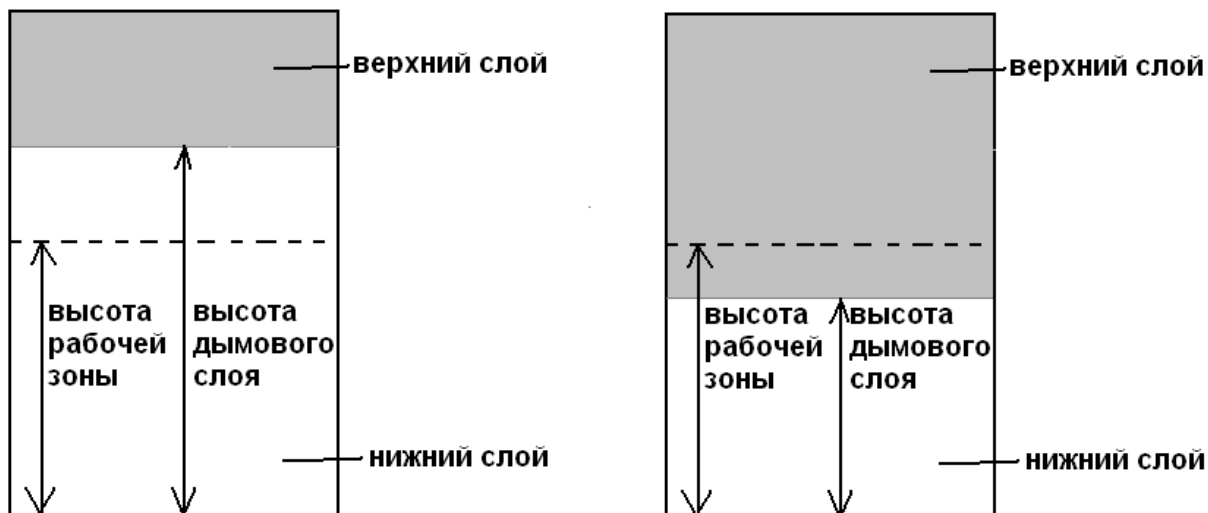
9.22. Соединения коридоров между собой обрабатываются следующим образом:



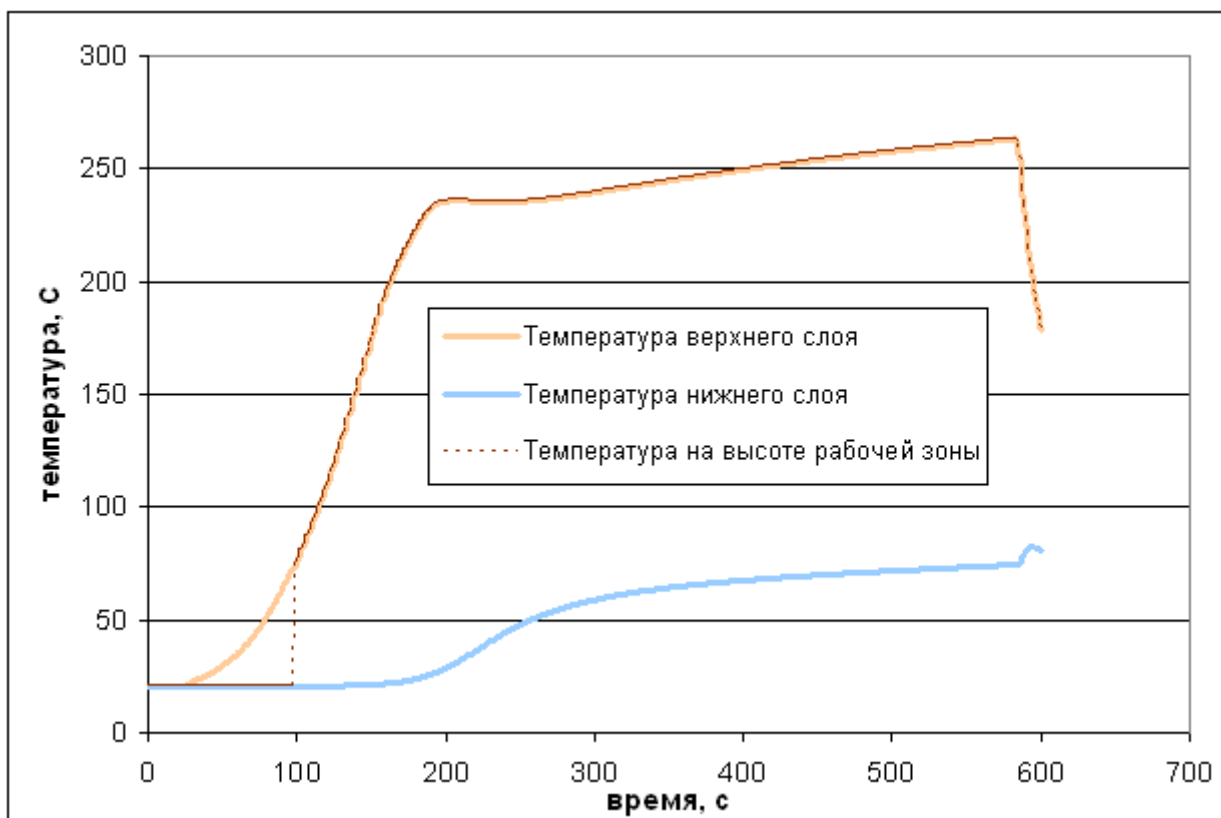
- 9.23. Каждая пара коридоров соединяется проемами. Красная линия показывает ширину проема в каждом конкретном случае.

## 10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА

- 10.1. Значения опасного фактора на высоте рабочей зоны определяется следующим образом:
- 10.2. — если высота дымового слоя **больше** высоты рабочей зоны, значение опасного фактора на высоте рабочей зоны принимается равным значению фактора в **нижнем** слое
- 10.3. — если высота дымового слоя **меньше** высоты рабочей зоны, значение опасного фактора на высоте рабочей зоны принимается равным значению фактора в **верхнем** слое.



- 10.4. График опасного фактора, например, температуры, будет иметь следующие вид:



- 10.5.
- 10.6. Значение параметра на высоте рабочей зоны меняется скачком, когда высота дымового слоя достигает высоты рабочей зоны.



## 11. ТРЕБОВАНИЯ К РЕСУРСАМ КОМПЬЮТЕРА

- 11.1. Для работы программы «СИТИС: Блок» необходимы следующие минимальные требования:
- 11.2. – ПК с процессором 1,8 ГГц разрядностью 64 бита
- 11.3. – 512 МБ оперативной памяти
- 11.4. – цветной монитор 1024 x 768 пикселей, 16 бит
- 11.5. – операционная система: Microsoft® Windows 7/8/10.
- 11.6. Расчет сценария может выполняться от нескольких секунд до нескольких часов, в зависимости от сложности и детализации сценария.

## 12. ОБЗОР СВЕДЕНИЙ О ВАЛИДАЦИИ МОДЕЛИ

- 12.1. **Валидация** — это документированное описание степени соответствия метода расчета или расчетной модели экспериментальным данным или реально наблюдаемым явлениям. В процессе валидации выполняется сравнение результатов физического эксперимента и результатов моделирования того же процесса, определяется соответствие между физической и математической моделями.
- 12.2. Подробнее о валидации расчетного модуля программы можно прочитать в документе 3531-40-ВЛ-1 «Отчет о валидации».
- 12.3. По результатам обработки экспериментов и прогнозов сделаны следующие выводы:
- 12.4. Прогнозы высоты и температуры слоя горячих газов находятся в основном в пределах экспериментальной погрешности. Прогнозы температуры слоя горячих газов обычно слегка завышены, а высоты - слегка занижены (прогнозируемая глубина слоя чуть больше экспериментальной). Прогнозы в основном находятся в пределах 10—20% от экспериментальных измерений. Погрешность прогноза температуры и высоты слоя горячих газов несколько выше в помещениях, удалённых от огня, по сравнению с горящим помещением.
- 12.5. Температуру припотолочной струи в основном прогнозируется в пределах экспериментальной погрешности. В случаях, когда температура слоя горячих газов намного ниже 70 °С, наблюдается завышение прогнозируемых значений.
- 12.6. Прогнозы по высоте пламени, согласуются с визуальными наблюдениями высоты пламени в ходе экспериментов.
- 12.7. Прогнозы относительно концентрации газа и давления в помещении находятся в пределах экспериментальной погрешности.
- 12.8. Программа, как правило, даёт завышенный прогноз концентрации дыма. При испытаниях «с открытой дверью» (в стенде, открытом в окружающее пространство) прогнозируемые значения концентрации дыма находятся в пределах экспериментальных погрешностей, а в испытаниях «с закрытой дверью» (в изолированном стенде) — значительно превышают экспериментальные.

### 13. ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

- 13.1. Оценка достоверности результатов моделирования может выполняться следующими способами:
- 13.2. — сопоставление результата вычисления и инженерного суждения, основанного на имеющейся практике создания аналогичных объектов (зданий)
- 13.3. — сопоставление результата вычисления с результатом выполнения оценочного расчета — упрощенного расчета, проведенного по более грубой модели/алгоритму
- 13.4. — проведение анализа чувствительности (определение влияния неопределенности исходных данных на результат расчета)
- 13.5. — сопоставление результата вычисления с результатом уточняющего расчета — расчета, проведенного по более точной модели с использованием уточненных или расширенных исходных данных.

## 14. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 14.1. Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»
- 14.2. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности. Приложение к приказу МЧС России от 30.06.09 г. № 382
- 14.3. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: Учебное пособие. — М.: Академия ГПС МВД России, 2000. — 118 с.
- 14.4. Материалы семинара Уральского института ГПС МЧС «Расчет индивидуального пожарного риска для общественных зданий», г.Екатеринбург, 19-21 мая 2009 г. Уральский институт ГПС МЧС
- 14.5. Грачев В.Ю. Введение в моделирование пожаров для расчета пожарного риска. - Екатеринбург: Издательский дом «Ажур», 2009. — 69 с.
- 14.6. Руководство пользователя 3523-40-РП-1 «Блок 4. Руководство пользователя»
- 14.7. TP-5042. Валидация математических моделей пожаров. Обзор зарубежных источников.
- 14.8. TP-5044. Пожарная нагрузка. Обзор зарубежных источников. Под редакцией Грачева В. Ю. — СИТИС, 2009.
- 14.9. TP-5045. Противодымная защита атриумных зданий. Обзор зарубежных источников. Под редакцией Грачева В. Ю. — СИТИС, 2009.
- 14.10. NFPA 551. Guide for the Evaluation of Fire Risk Assessments. 2010 Edition.
- 14.11. NIST Special Publication 1026. CFAST — Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6). Technical Reference Guide. April 2009.
- 14.12. NIST Special Publication 1041. CFAST — Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6). User's Guide. December 2008.
- 14.13. NIST Special Publication. CFAST — Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6). Software and Experimental Validation Guide CFAST. May 2008.
- 14.14. Изменения, вносимые в методику определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности, утвержденную приказом МЧС России от 30.06.09 г. № 382. Приложение к приказу МЧС России №749 от 12.12.2011
- 14.15. Изменения, вносимые в методику определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности, утвержденную приказом МЧС России от 30.06.09 г. № 382. Приложение к приказу МЧС России №632 от 02.12.2015
- 14.16. L. R. Petzold. A Description of DASSL: A Differential/Algebraic System Solver. SAND82-8637, Sandia National Laboratory, Albuquerque, New Mexico, September 1982.
- 14.17. K. E. Brenan, S. L. Campbell, and L. R. Petzold. Numerical Solution of Initial-Value Problems in Differential-Algebraic Equations. Elsevier Science Publishing, New York, 1989
- 14.18. R.L. Alpert. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, chapter Ceiling Jet Flows. National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, fourth edition, 2008
- 14.19. G. Heskestad. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, chapter Fire Plumes, Flame Height, and Air Entrainment. National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, fourth edition, 2008.