

# МЕТОДЫ РАСЧЕТА ОФП

МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА

ПОДГОТОВЛЕНО:

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России

- Авторы: Д.т.н., профессор ПУЗАЧ С.В., к.т.н., доцент АНДРЕЕВ В.В.

По вопросам расчета обращаться:

**НЭЦ ПРОТИВОПОЖАР**

2-й Кожуховский проезд д.12, стр.2

+7 499 703 42 68

**[www.protivopozhar.ru](http://www.protivopozhar.ru)**



# Содержание

1. Введение
2. Опасные факторы пожара
3. Основные задачи расчета динамики ОФП и их место при решении практических задач пожарной безопасности
4. Классификация современных методов расчета динамики ОФП
5. Интегральные методы расчета
6. Зонные методы расчета
7. Полевые методы расчета
8. Выбор модели для расчета динамики ОФП. Программы для расчета
9. Заключение



# Введение

- В связи с переходом многих стран мира к гибкому объектно ориентированному противопожарному нормированию математическое моделирование пожаров становится определяющим звеном при решении различных задач пожарной безопасности.
- Вопрос точности и надежности метода расчета тепломассообмена при пожаре является ключевым в обеспечении безопасности людей, при выборе параметров систем противопожарной защиты и при проведении противопожарных мероприятий.
- В российских стандартах безопасности (ГОСТ 12.1.004-91 и др.) были заложены упрощенные методы расчета, неадекватные реальной термогазодинамической картине пожара и приводящие в ряде случаев к занижению необходимого времени эвакуации людей в 2-3 раза.

# Введение

- Целью расчетов по математическим моделям теплообмена при пожаре является прогнозирование динамики изменения параметров газовой среды помещения (в первую очередь, опасных факторов пожара), прогрева ограждающих конструкций и теплового или иного воздействия пожара на людей и материальные ценности.
- Оценка **опасных факторов пожара**, взрыва для различных сценариев их развития осуществляется на основе сопоставления информации о **моделировании динамики опасных факторов пожара** на территории производственного объекта и прилегающей к нему территории и информации о **критических для жизни и здоровья людей значениях опасных факторов анализируемых пожара, взрыва** (статья 96 ФЗ № 123-ФЗ ).

# Опасные факторы пожара

- **Опасные факторы пожара** - факторы пожара, воздействие которых может привести к травме, отравлению или гибели человека и (или) к материальному ущербу (статья 2 **ФЗ № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”**). К опасным факторам пожара, воздействующим на людей и имущество, относятся (статья 9):
  - 1) пламя и искры;
  - 2) тепловой поток;
  - 3) повышенная температура окружающей среды;
  - 4) повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения;
  - 5) пониженная концентрация кислорода;
  - 6) снижение видимости в дыму.



# Величины, характеризующие опасные факторы пожара

В количественном отношении каждый **опасный фактор пожара** характеризуется одной или несколькими величинами:

- 1) пламя и искры ( $F_{г}$ ,  $m^2$ ;  $\psi$ ,  $кг \cdot с^{-1}$ ;  $Q_{пож}$ ,  $Вт$ ;  $\psi L_i$ ,  $кг \cdot с^{-1}$ ;  $\psi L_1$ ,  $кг \cdot с^{-1}$ ;  $\psi D$ ,  $Нп \cdot м^2 \cdot кг^{-1}$ );
- 2) тепловой поток ( $q$ ,  $Вт \cdot м^{-2}$ );
- 3) повышенная температура окружающей среды ( $t$ ,  $^{\circ}C$ ;  $T$ ,  $K$ );
- 4) повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения ( $\rho_i$ ,  $кг \cdot м^{-3}$ ;  $x_i$ );
- 5) пониженная концентрация кислорода ( $\rho_1$ ,  $кг \cdot м^{-3}$ ;  $x_1$ );
- 6) снижение видимости в дыму ( $\mu$ ,  $Нп \cdot м^{-1}$ ).

$$L_{вид} = 2,38 / \mu$$



## Критические значения опасных факторов пожара (СП 11.13130.2009, приложение А)

- $T_{кр}$  – критическая для жизни людей температура среды в помещении при пожаре,  $T_{кр} = 343$  К.
- $X_{кри}$  – критическая концентрация (парциальная плотность) ***i*-го газа** для жизни человека: окись углерода  $X_{CO} = 0,00116$  кг/м<sup>3</sup>; двуокись углерода  $X_{CO_2} = 0,11$  кг/м<sup>3</sup>; хлористый водород  $X_{HCl} = 0,023 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>; цианистый водород  $X_{HCN} = 0,2 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>; фосген  $X_{COCl_2} = 0,2 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>; окислы азота  $X_{NO_2} = 1 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>; сероводород  $X_{H_2S} = 1,1 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>.
- Предельная концентрация (парциальная плотность) **кислорода**  $X_{O_2} = 0,226$  кг/м<sup>3</sup>;
- Предельная дальность видимости в дыму  $\mu_{кр} = 20$  м.
- Критическая величина плотности **теплового потока** для человека  $q_{кр} = 1400$  Вт/м<sup>2</sup> (проект методики оценки пожарного риска для объектов общественного назначения)

## Основные задачи расчета динамики ОФП:

- критическая продолжительность пожара (необходимое время эвакуации);
- фактические пределы огнестойкости строительных конструкций;
- время срабатывания тепловых, дымовых, концентрационных, радиационных и комбинированных пожарных извещателей;
- термогазодинамическая картина пожара (обстановка на пожаре);
- безопасные расстояния (для эвакуации людей и расстановки оборудования).



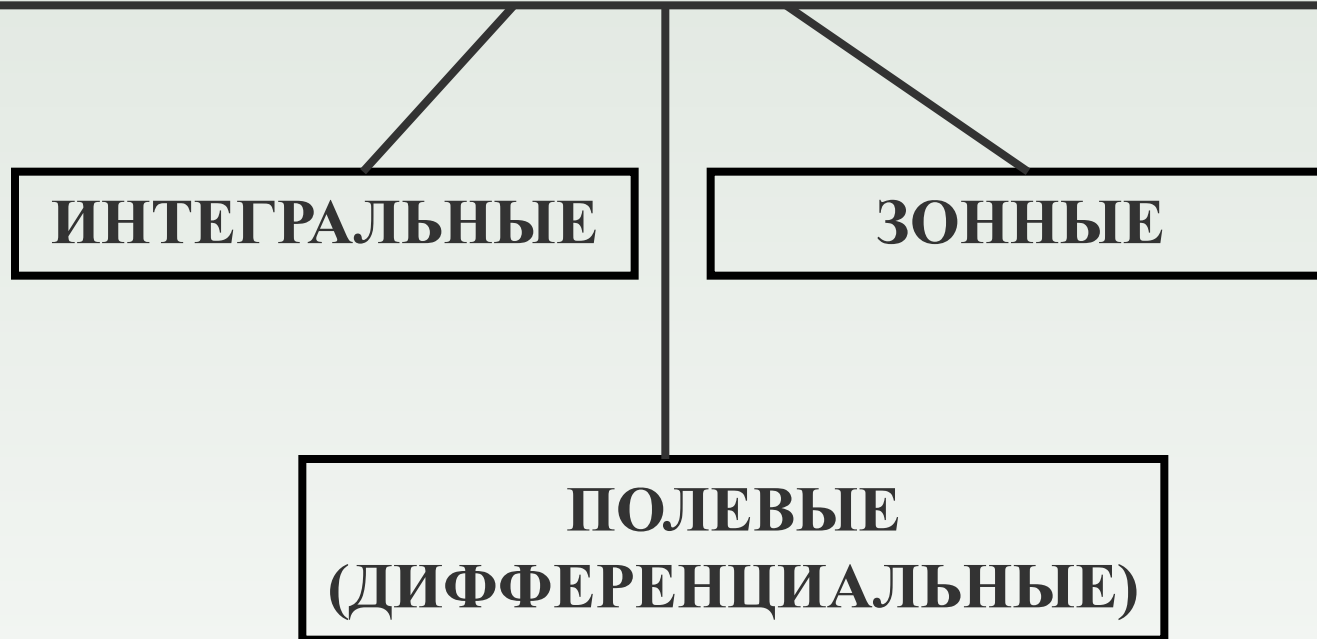
**Полученные характеристики динамики ОФП  
применяются при решении следующих задач  
пожарной безопасности :**

- анализ объемно-планировочных и конструктивных решений проектируемых, реконструируемых и существующих зданий и сооружений;
- выбор и оптимизация толщин огнезащитных покрытий строительных конструкций;
- проектирование автоматических систем пожарной сигнализации и автоматического пожаротушения;
- проведение пожарно-технических экспертиз и расследований пожаров;
- разработка планов эвакуации и пожаротушения.

# Основные научные проблемы при разработке метода расчета, находящихся на стыке различных научных дисциплин (теплообмен, химия, теория прочности):

- турбулентный теплообмен при горении газообразных веществ и твердых частиц в условиях совместного воздействия ряда возмущающих течение факторов;
- лучистый теплообмен в оптически неоднородной двухфазной газовой среде в условиях турбулентного горения и его взаимного влияния на конвективный теплообмен;
- процесс прогрева и газификации пожарной нагрузки под тепловым воздействием пожара;
- фазовые переходы (испарение, конденсация, плавление) в условиях пожара;
- совместное определение теплового и напряженного состояния ограждающих конструкций помещения.

# МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РАСЧЕТА ДИНАМИКИ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА



Различие моделей заключается  
в разном уровне детализации  
термогазодинамической картины пожара.

# ИНТЕГРАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

Среднеобъемные величины температуры, плотности, массовых концентраций кислорода, токсичных продуктов горения, огнетушащего вещества и оптической концентрации дыма, а также средние температуры ограждающих конструкций и усредненные характеристики теплогазообмена через проемы.

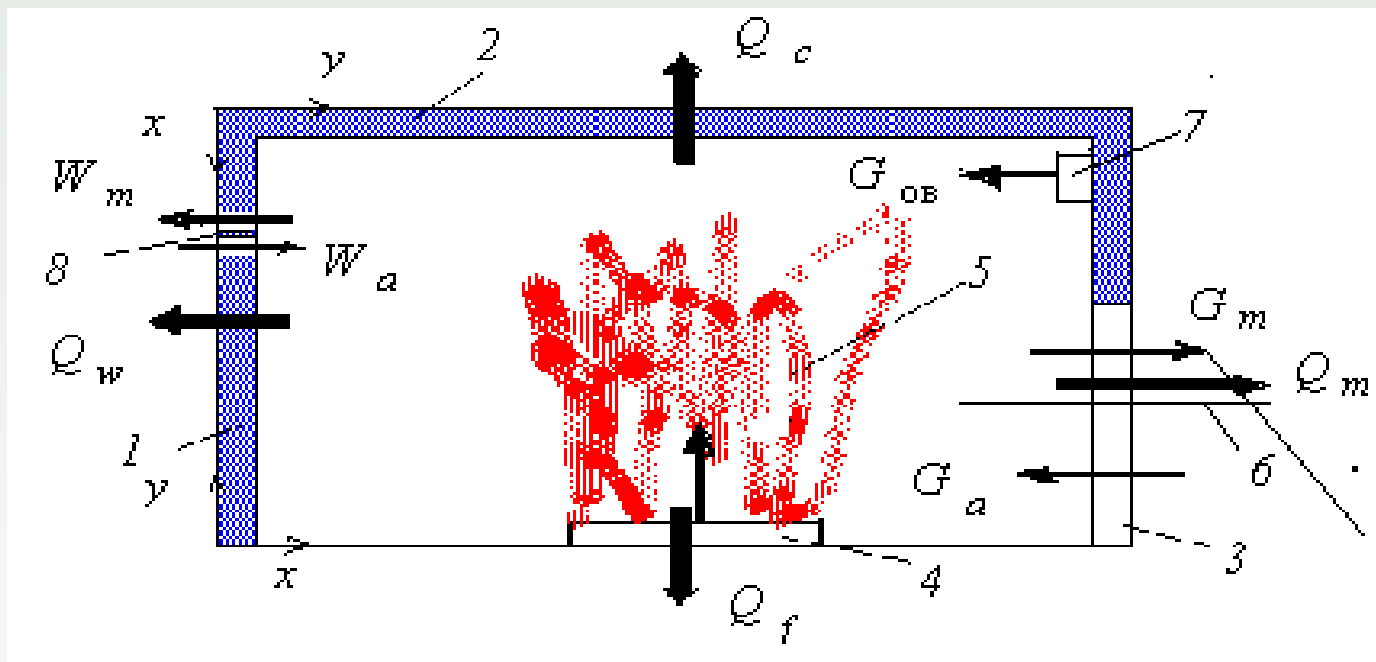


Рис. 1. Схема тепло-массообмена : 1 – стены; 2 – перекрытие; 3 - открытый проем; 4 - горючий материал; 5 - очаг горения; 6 - нейтральная плоскость; 7 - система пожаротушения; 8 - механическая приточно-вытяжная вентиляция

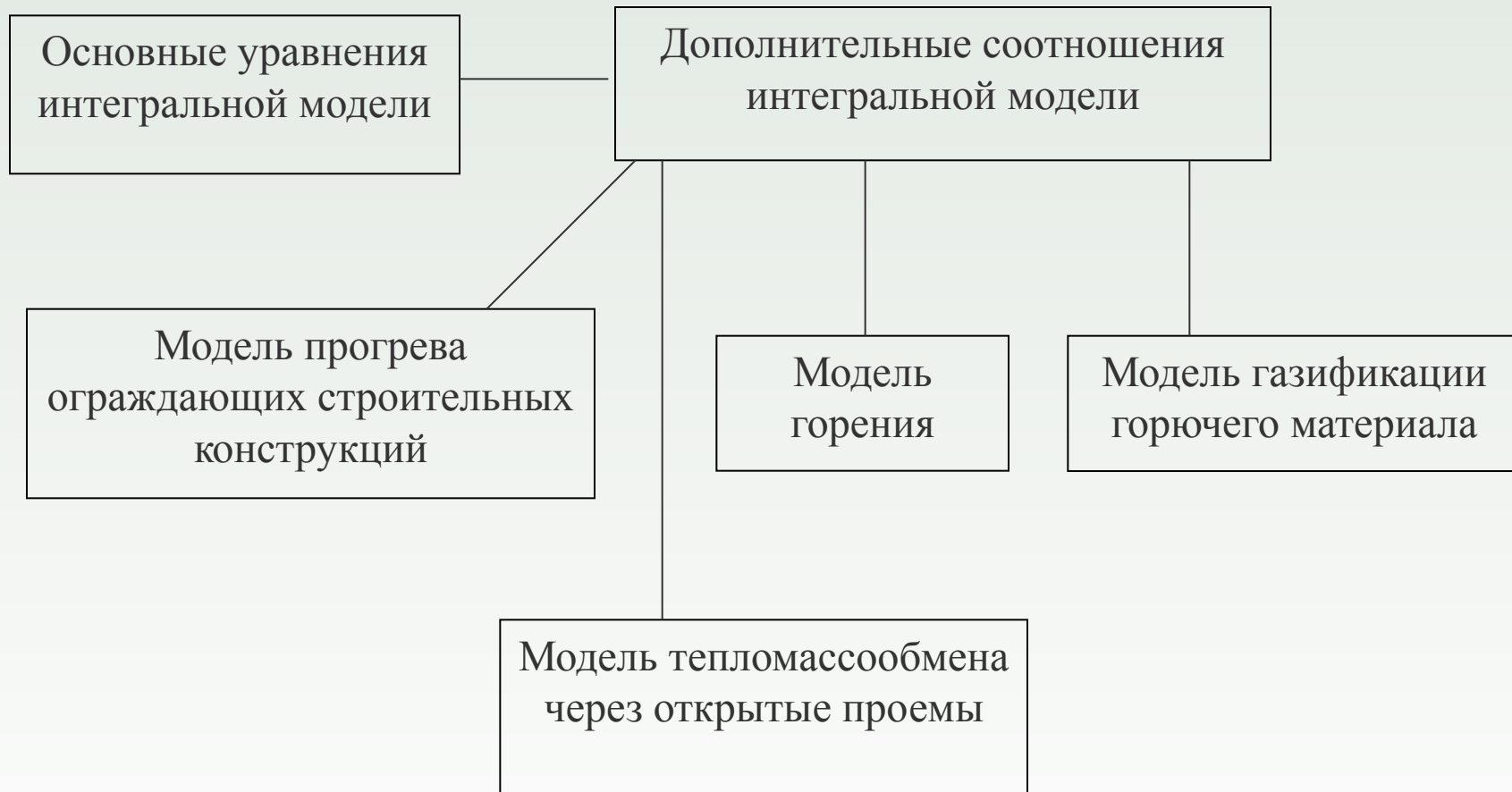
# ИНТЕГРАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

## основные упрощения термогазодинамической картины пожара

- газовая смесь состоит из идеальных газов;
- состояние газовой среды помещения и параметры теплообмена в каждый момент времени однозначно определяются среднеобъемными значениями параметров состояния газовой среды;
- поверхности равных давлений внутри и снаружи помещения, а также скоростей, равных нулю, в области проема являются плоскостями и совпадают друг с другом;
- геометрическое положение пожарной нагрузки в помещении не влияет на параметры теплообмена через открытые проемы с окружающей средой и теплоотвода в ограждающие конструкции

# ИНТЕГРАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

## структура



# ИНТЕГРАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

Основное преимущество: быстрый и низкотрудоемкий инженерный расчет динамики опасных факторов пожара

## ОСНОВНЫЕ НЕДОСТАТКИ:

- область корректного применения интегральной модели (по объемам и геометрии помещений, расположению горючего материала и т.д.) является нерешенной проблемой;

- необходимость использования дополнительной экспериментальной информации или моделей более высокого уровня (зонных или полевых) для получения распределения параметров теплообмена по объему помещения;

- величины ОФП на уровне рабочей зоны не зависят от вида, свойств, места расположения горючего материала и геометрии помещения:

$$Z = \frac{h_{pz}}{H} \exp\left(1,4 \frac{h_{pz}}{H}\right), \quad \text{ОФП}_{pz} = f(\text{ОФП}_{cp}, Z);$$

где  $h_{pz}$  — высота рабочей зоны;  $H$  — высота помещения.

Была реализована в нормативных документах ГОСТ 12.1.004-91, ГОСТ Р 12.3.047-98 для определения необходимого времени эвакуации людей (при высоте  $H \leq 6$  м) :

- зальные помещения: аналитическое решение (проемы работают только на «выброс»);

- коридоры: численное решение уравнений интегральной модели

# ФОРМУЛЫ ГОСТ 12.1.004-91 и методики СП 11

Необходимое время эвакуации рассчитывается как произведение критической для человека продолжительности пожара на коэффициент безопасности. Предполагается, что каждый ОФП воздействует на человека независимо от других.

## Критическая продолжительность пожара:

по повышенной  
температуре:

$$\tau_{\text{кр}}^T = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left[ 1 + \frac{70 - t_0}{(273 + t_0)Z} \right] \right\}^{1/n}$$

по потере видимости:

$$\tau_{\text{кр}}^{l_v} = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left[ 1 - \frac{V \ln(1,05\alpha E)}{l_{\text{вкр}} B D_s Z} \right]^{-1} \right\}^{1/n}$$

по понижен. содержанию  
кислорода:

$$\tau_{\text{кр}}^{\text{O}_2} = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left[ 1 - \frac{0,044}{\left( \frac{B L_{\text{O}_2}}{V} + 0,27 \right) Z} \right]^{-1} \right\}^{1/n}$$

по каждому из газообразных токсичных продуктов горения:

$$\tau_{\text{кр}}^i = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left[ 1 - \frac{V X}{B L_i Z} \right]^{-1} \right\}^{1/n}$$

## Упрощение термогазодинамической картины пожара:

- проемы работают только на «выброс»;
- коэффициент теплопотерь принимается постоянным;
- удельный выход токсичных газов при сгорании 1 кг материала постоянен и не зависит от концентрации кислорода и т.д.



# ЗОННАЯ МОДЕЛЬ

Среднезонные величины температуры, плотности, массовых концентраций кислорода, токсичных продуктов горения и оптической концентрации дыма, а также средние температуры ограждающих конструкций и усредненные характеристики теплогазообмена через проемы.

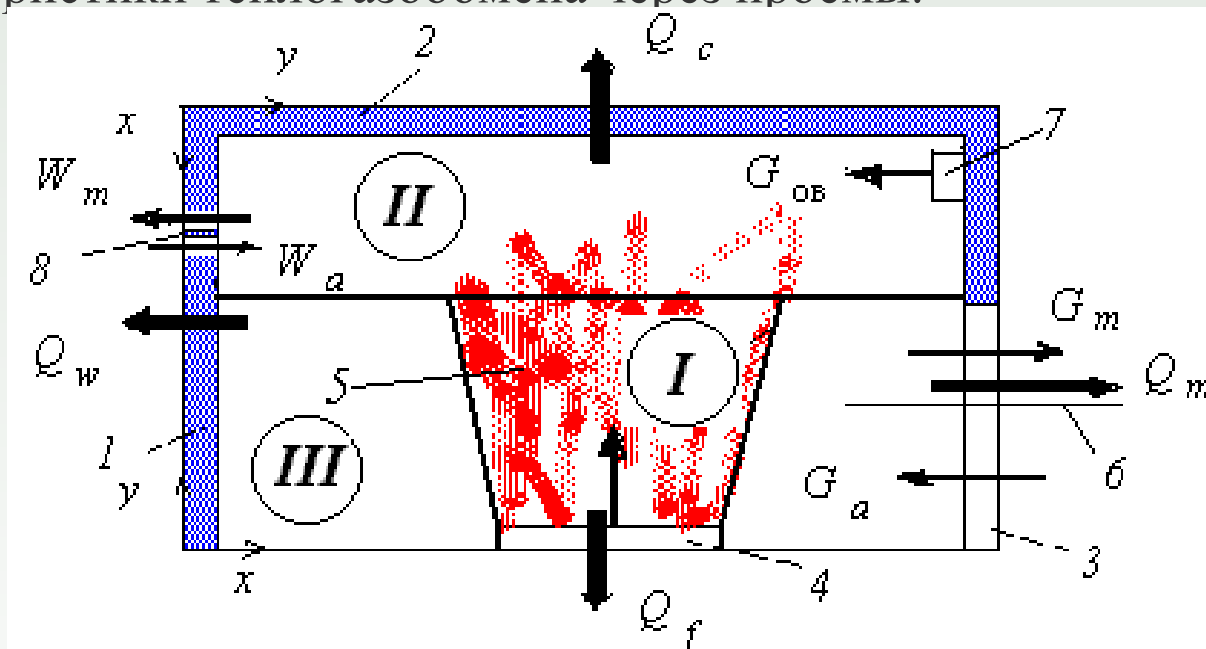


Рис. 1. Схема тепломассообмена : 1 – стены; 2 – перекрытие; 3 - открытый проем; 4 - горючий материал; 5 - очаг горения; 6 - нейтральная плоскость; 7 - система пожаротушения; 8 - механическая приточно-вытяжная вентиляция; I, II, III - номера зон

# ЗОННАЯ МОДЕЛЬ

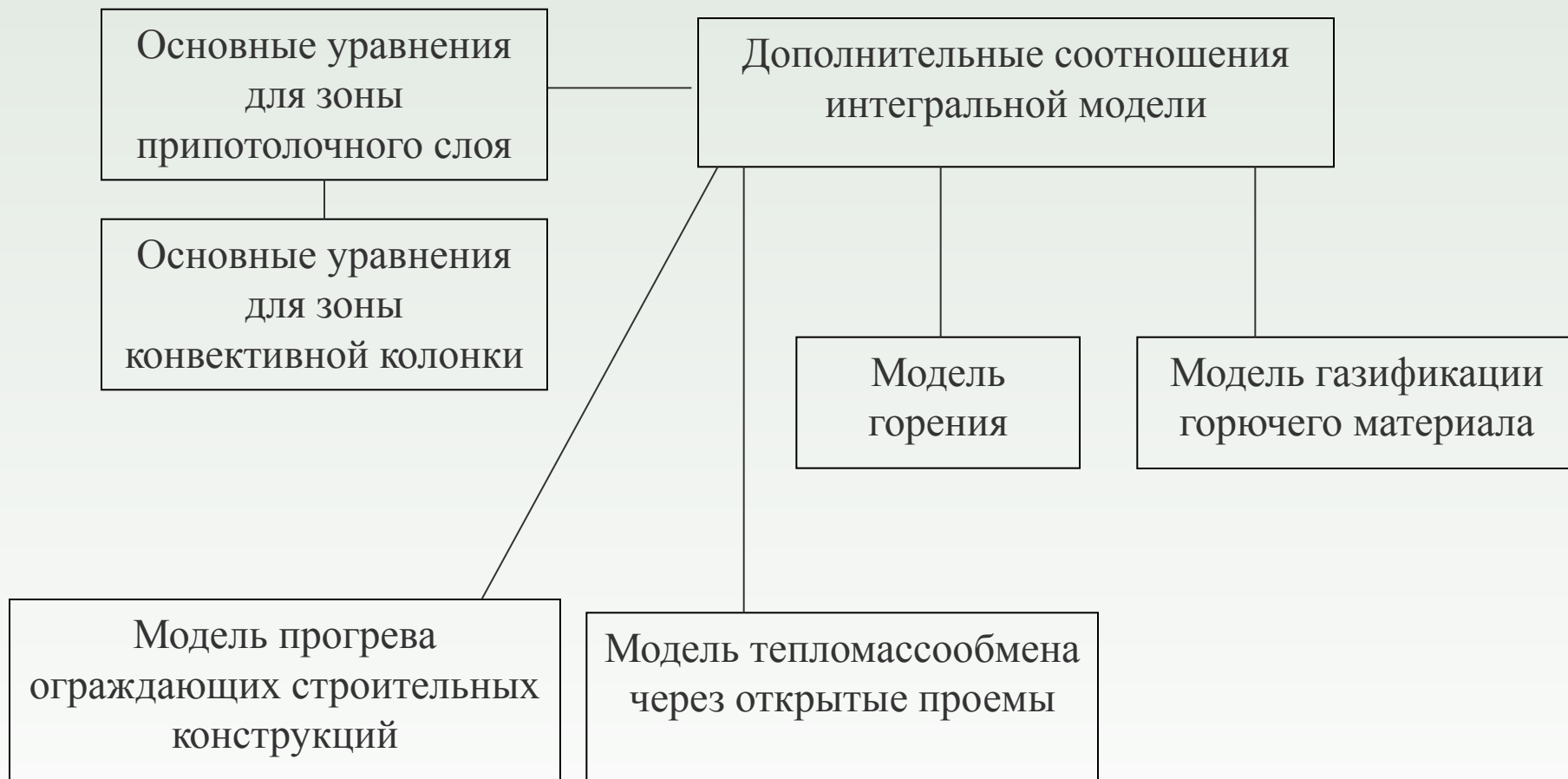
## основные упрощения термогазодинамической картины пожара

- газовая смесь состоит из идеальных газов;
- припотолочный слой является плоскопараллельным потолку, равномерно прогретым и задымленным;
- состояние газовой среды помещения и параметры теплообмена в каждый момент времени однозначно определяются среднезонными значениями параметров состояния газовой среды;
- геометрическое положение пожарной нагрузки в помещении не влияет на параметры теплообмена через открытые проемы с окружающей средой и теплоотвода в ограждающие конструкции



# ЗОННАЯ МОДЕЛЬ

## структура



# ЗОННАЯ МОДЕЛЬ

Основные преимущества:

- **быстрый и низкотрудоемкий инженерный расчет динамики опасных факторов пожара;**
- используются **закономерности теплового и гидродинамического взаимодействия струйного течения со строительными конструкциями** с условным разбиением на характерные области (критическая точка, область ускоренного течения, переходная область и область автомодельного течения).

ОСНОВНЫЕ НЕДОСТАТКИ:

- область **корректного применения зонной модели (по объемам и геометрии помещений, расположению горючего материала и т.д.)** является **нерешенной проблемой;**
- необходимость использования **дополнительной экспериментальной информации или модели более высокого уровня (полевой)** для получения **распределения параметров теплообмена по объемам зон помещения;**
- в случае **сложной термогазодинамической картины пожара основные допущения** зонной модели (равномерно прогретый припотолочный слой и т.д.) **не соответствуют реальным условиям.**



# ПОЛЕВАЯ (ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ) МОДЕЛЬ

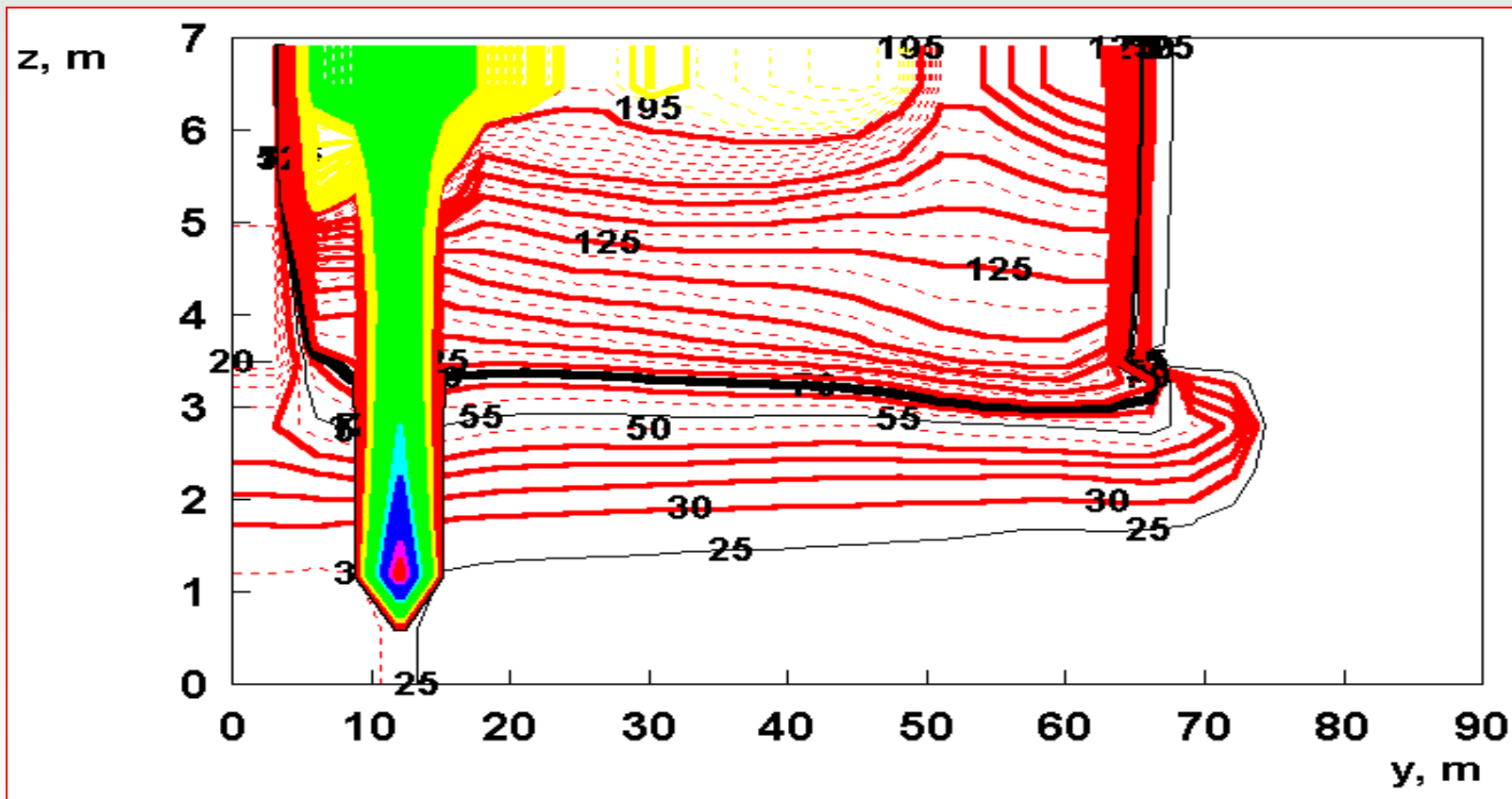
Наиболее подробное описание процессов тепломассообмена при пожаре в помещении дают полевые (дифференциальные) модели.

Основным их достоинством является то, что искомыми параметрами являются поля температур, скоростей, давлений, концентраций компонентов газовой среды и частиц дыма по всему объему помещения.

Полевые модели наиболее сложны в математическом описании, так как они состоят из системы трех- или двумерных нестационарных дифференциальных уравнений в частных производных.



# ПОЛЕВАЯ (ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ) МОДЕЛЬ



Поля температур в помещении  
при пожаре (поперечное сечение)

# ПОЛЕВАЯ (ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ) МОДЕЛЬ

Пожар в помещении протекает в сложных термогазодинамических условиях при одновременном воздействии ряда возмущающих течение факторов:

- неизотермичность (отличие температур твердых поверхностей и газовых потоков);
- сжимаемость (плотность газа не является постоянной величиной);
- продольный и поперечный градиенты давления;
- вдув на стенке (поступление в помещение продуктов внутренней деструктуризации материала твердых конструкций, теплообменная защита конструкций);
- излучение;
- протекание химических реакций;
- двухфазность (одновременное сосуществование нескольких фаз – газ + твердые частицы, газ+жидкость, газ+твердые частицы+жидкость);
- шероховатость поверхностей конструкций;
- кривизна поверхности;
- турбулентность;
- скачки уплотнения;
- переход ламинарного режима течения в турбулентный.



# ПОЛЕВАЯ (ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ) МОДЕЛЬ

## Допущения и упрощения реальной термогазодинамической картины процесса:

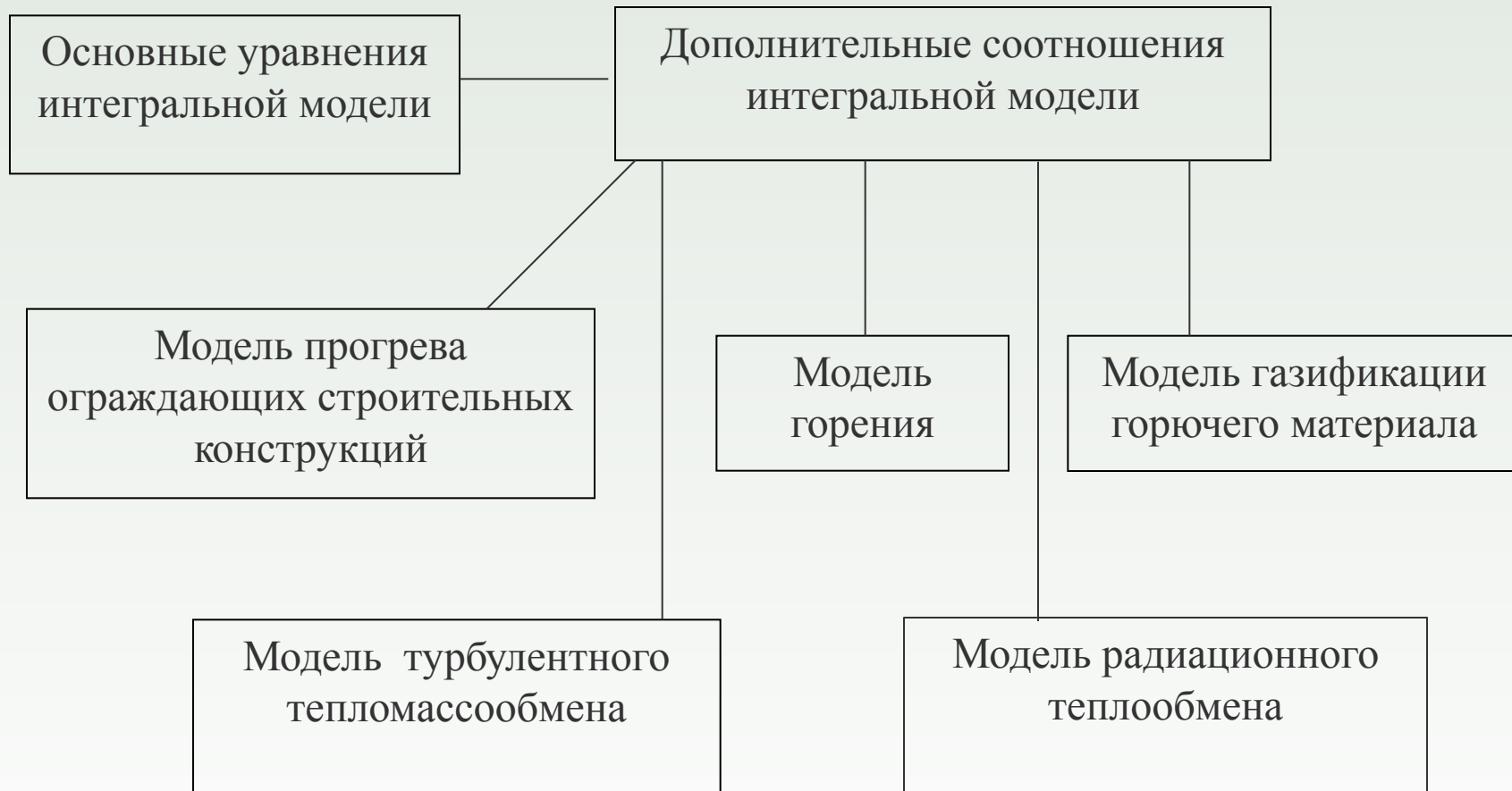
- существует локальное термодинамическое и химическое равновесие во всем объеме помещения, что позволяет использовать равновесное уравнение состояния;
- газовая среда является смесью идеальных газов, что дает удовлетворительное приближение в диапазонах температур и давлений, характерных при пожаре;
- локальные скорости и температуры компонентов газовой смеси и твердых (или жидких) частиц одинаковы между собой в каждой точке пространства (односкоростная и однотемпературная модель);
- химическая реакция горения является одноступенчатой и необратимой;
- диссоциация и ионизация среды при высоких температурах не учитывается;
- турбулентные пульсации не влияют на теплофизические свойства среды;
- взаимным влиянием турбулентности и излучения пренебрегаем;
- пренебрегается обратным влиянием горения на скорость газификации горючего материала;
- термо- и бародиффузией пренебрегаем.





# ПОЛЕВАЯ (ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ) МОДЕЛЬ

## структура



$$\frac{\partial}{\partial \tau}(\rho\Phi) + \text{div}(\rho w\Phi) = \text{div}(\Gamma \text{ grad } \Phi) + S$$

№ п/п	Φ	Γ	S
1	1	0	0
2	$w_x$	$\mu + \mu_T$	$\frac{\partial}{\partial x} \left( \Gamma \frac{\partial w_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \Gamma \frac{\partial w_y}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \Gamma \frac{\partial w_z}{\partial x} \right) - \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial x} (\Gamma \text{ div } w)$
3	$w_y$	$\mu + \mu_T$	$\frac{\partial}{\partial x} \left( \Gamma \frac{\partial w_x}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \Gamma \frac{\partial w_y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \Gamma \frac{\partial w_z}{\partial y} \right) - \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial y} (\Gamma \text{ div } w)$
4	$w_z$	$\mu + \mu_T$	$\frac{\partial}{\partial x} \left( \Gamma \frac{\partial w_x}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \Gamma \frac{\partial w_y}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \Gamma \frac{\partial w_z}{\partial z} \right) - \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial z} (\Gamma \text{ div } w) - \frac{\partial p}{\partial z} - \rho g$
5	$X_{O_2}$	$(D_{O_2} + D_{O_2T})\rho$	$-L_{O_2} \Psi_r \eta / \Delta V - L_{O_2H_2} \Psi_{H_2} \eta_{H_2} / \Delta V$
6	$X_{CO}$	$(D_{CO} + D_{CO_T})\rho$	$L_{CO} \Psi_r \eta / \Delta V$
7	$X_{CO_2}$	$(D_{CO_2} + D_{CO_2T})\rho$	$L_{CO_2} \Psi_r \eta / \Delta V$
8	$X_{H_2O}$	$(D_{H_2O} + D_{H_2O_T})\rho$	$L_{H_2O} \Psi_r \eta / \Delta V + L_{H_2OH_2} \Psi_{H_2} \eta_{H_2} / \Delta V$
9	$X_{H_2}$	$(D_{H_2} + D_{H_2T})\rho$	$-\Psi_{H_2} \eta_{H_2} / \Delta V$
10	$X_{OB}$	$(D_{OB} + D_{OB_T})\rho$	$G_{OB} / \Delta V$
11	$X_r$	$(D_r + D_{rT})\rho$	$\Psi_r (1 - \eta) / \Delta V$
12	$D_{оп}$	0	$D_{оп} \Psi_r / \Delta V$
13	$D_m$	0	$D_m \Psi_r / \Delta V$
14	$i_w$	$\lambda_w$	0
15	$i_c$	$\lambda_c$	0
16	$i$	$\lambda + \lambda_T + \lambda_{л}$	$\Psi_r \eta Q_p^H / \Delta V + \Psi_{H_2} \eta_{H_2} Q_{H_2} / \Delta V - q_{vp}$



# ВЫБОР МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА

*Интегральная модель:*

- для зданий и сооружений, содержащих развитую систему помещений малого объема простой геометрической конфигурации
- проведении имитационного моделирования для случаев, когда учет стохастического характера пожара является более важным, чем точное и детальное прогнозирование его характеристик;
- для помещений, где характерный размер очага пожара соизмерим с характерным размером помещения;

# ВЫБОР МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА

## *Зонная модель:*

- для помещений и систем помещений простой геометрической конфигурации, линейные размеры которых соизмеримы между собой;
- для помещений большого объема, когда размер очага пожара существенно меньше размеров помещения;
- для рабочих зон, расположенных на разных уровнях в пределах одного помещения (наклонный зрительный зал кинотеатра, антресоли и т.д.);

# ВЫБОР МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА

## *Полевая (дифференциальная) модель:*

- для помещений сложной геометрической конфигурации, а также помещений с большим количеством внутренних преград (атриумы с системой галерей и примыкающих коридоров, многофункциональные центры со сложной системой вертикальных и горизонтальных связей и т.д.);
- для помещений, в которых один из геометрических размеров гораздо больше (меньше) остальных (тоннели, закрытые автостоянки большой площади и т.д.);
- для иных случаев, когда применимость или информативность зонных и интегральных моделей вызывает сомнение (уникальные сооружения, распространение пожара по фасаду здания, необходимость учета работы систем противопожарной защиты, способных качественно изменить картину пожара, и т.д.).



# ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА

В качестве примера компьютерных программ, реализующих полевой метод моделирования, которые достаточно точно описывают поля скоростей, температур и концентраций на начальной стадии пожара, можно привести такие программные продукты как PHOENICS, JASMINE, SOFIE, FDS, FLUENT, CFX, Fenix. Вместе с тем для проведения расчетов могут быть использованы и другие программные комплексы, апробированные на основе сравнения с экспериментальными данными.

# ПРИМЕР РАСЧЕТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛЕВОЙ МОДЕЛИ ПОЖАРА

## РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ПОЖАРА В ТОРГОВОМ ЦЕНТРЕ

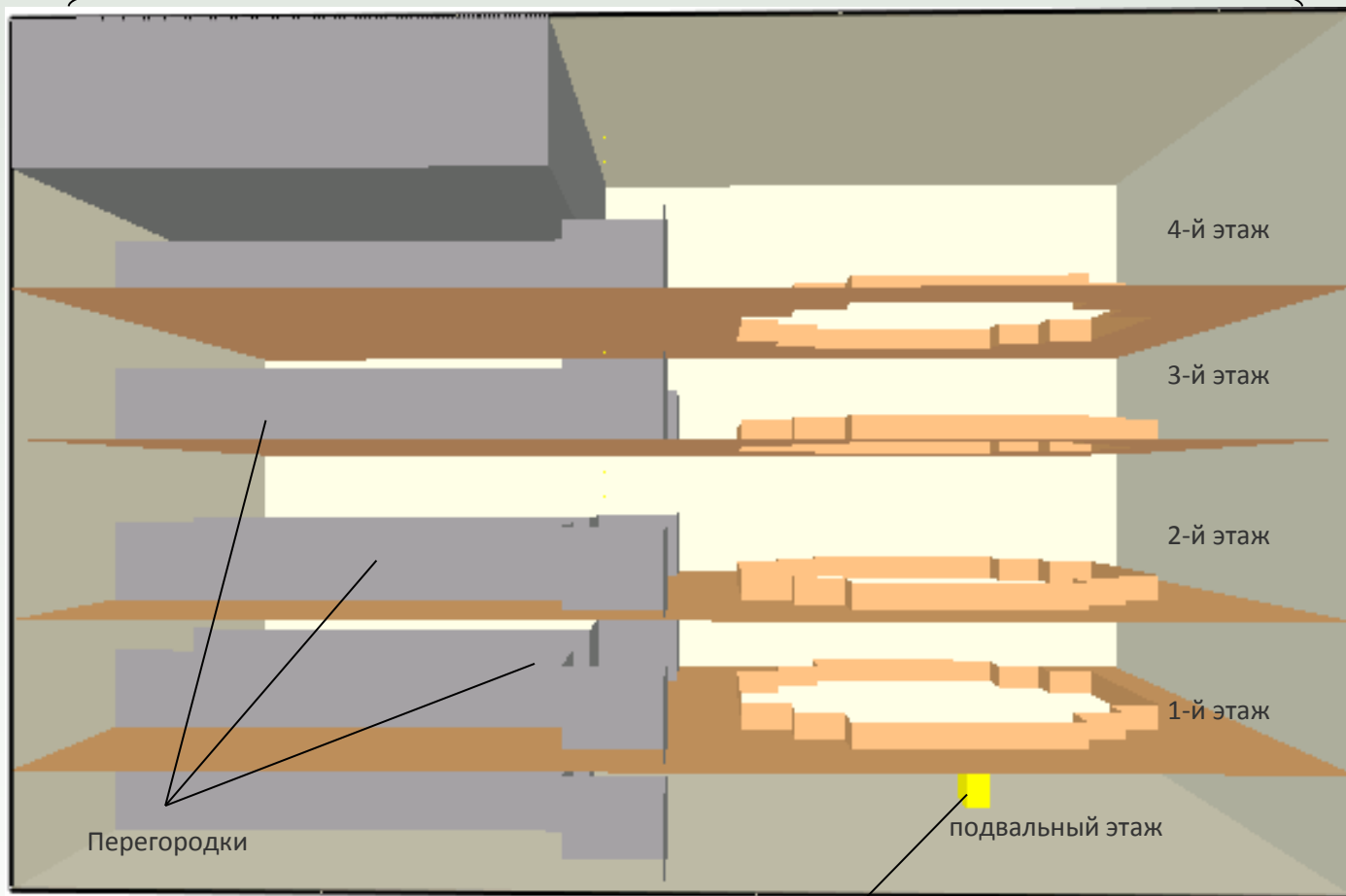
Для определения необходимого времени эвакуации из помещения высотой более 6 м (многосветное пространство) была составлена **трехмерная модель части здания.**

Для проведения расчетов использована полевая (дифференциальная) модель **FDS** (Fire Dynamic Simulator).



# Трехмерная модель части здания (вид А)

Длина= 47 м

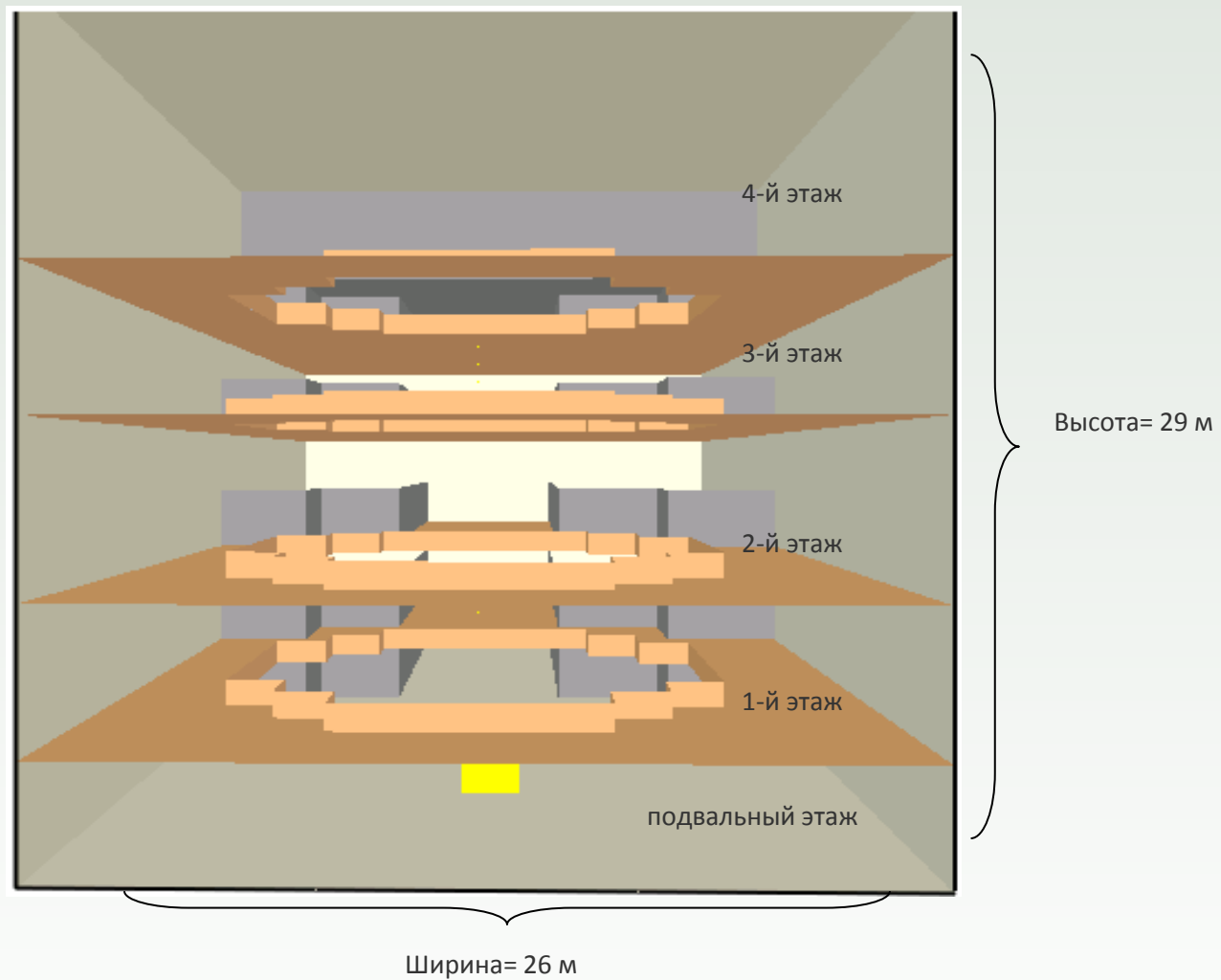


на этаже на отметке -3.900

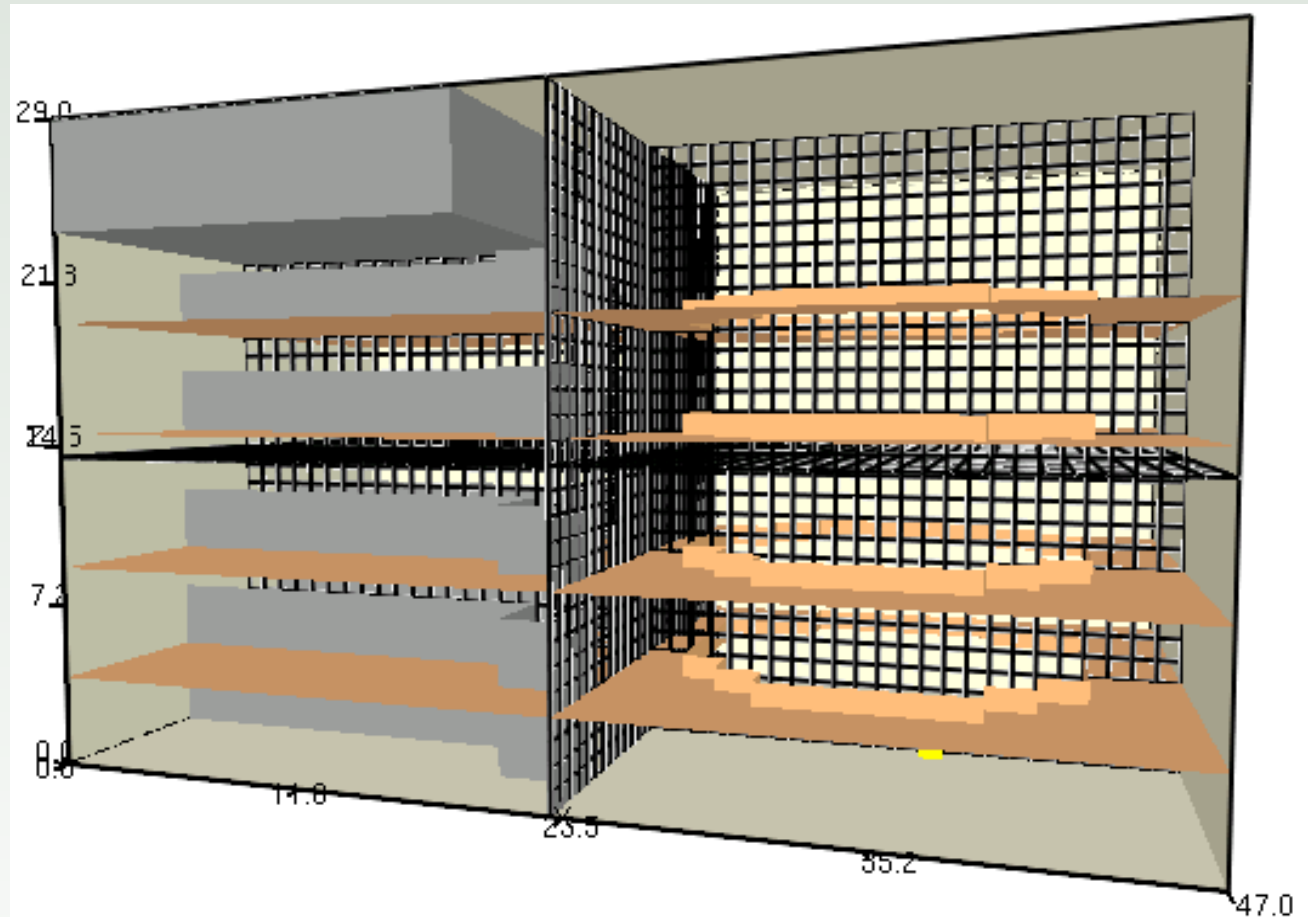
Размеры 2х3х2 м.



# Трехмерная модель части здания (вид Б)

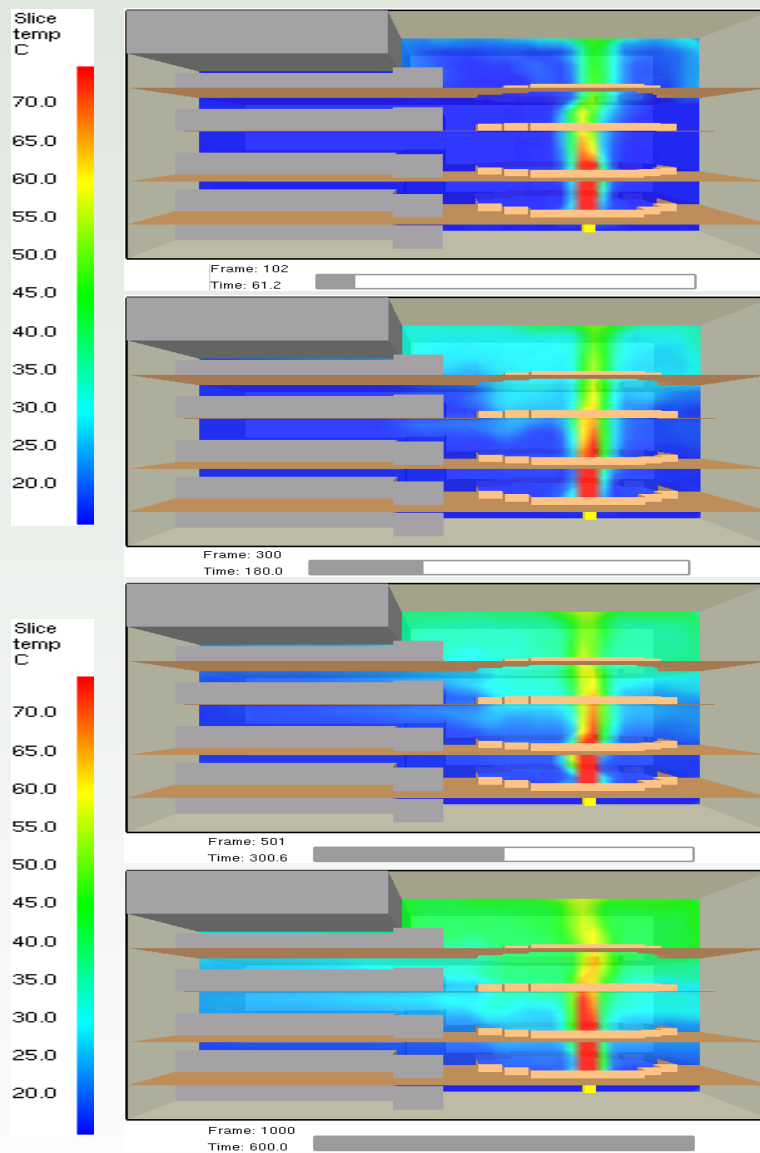


# Трёхмерная модель части здания



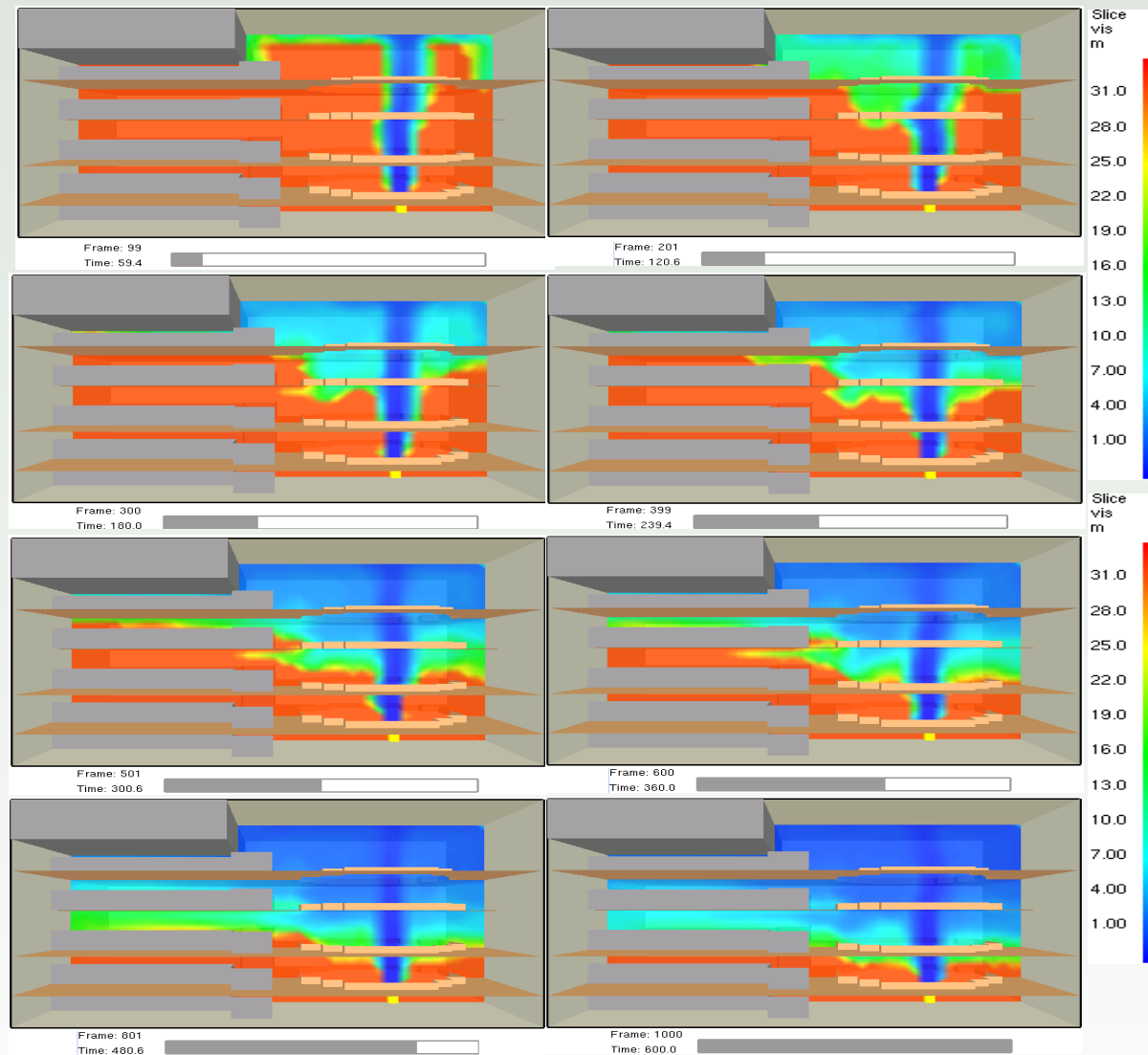
Система координат трёхмерной модели здания

# Трёхмерная модель части здания



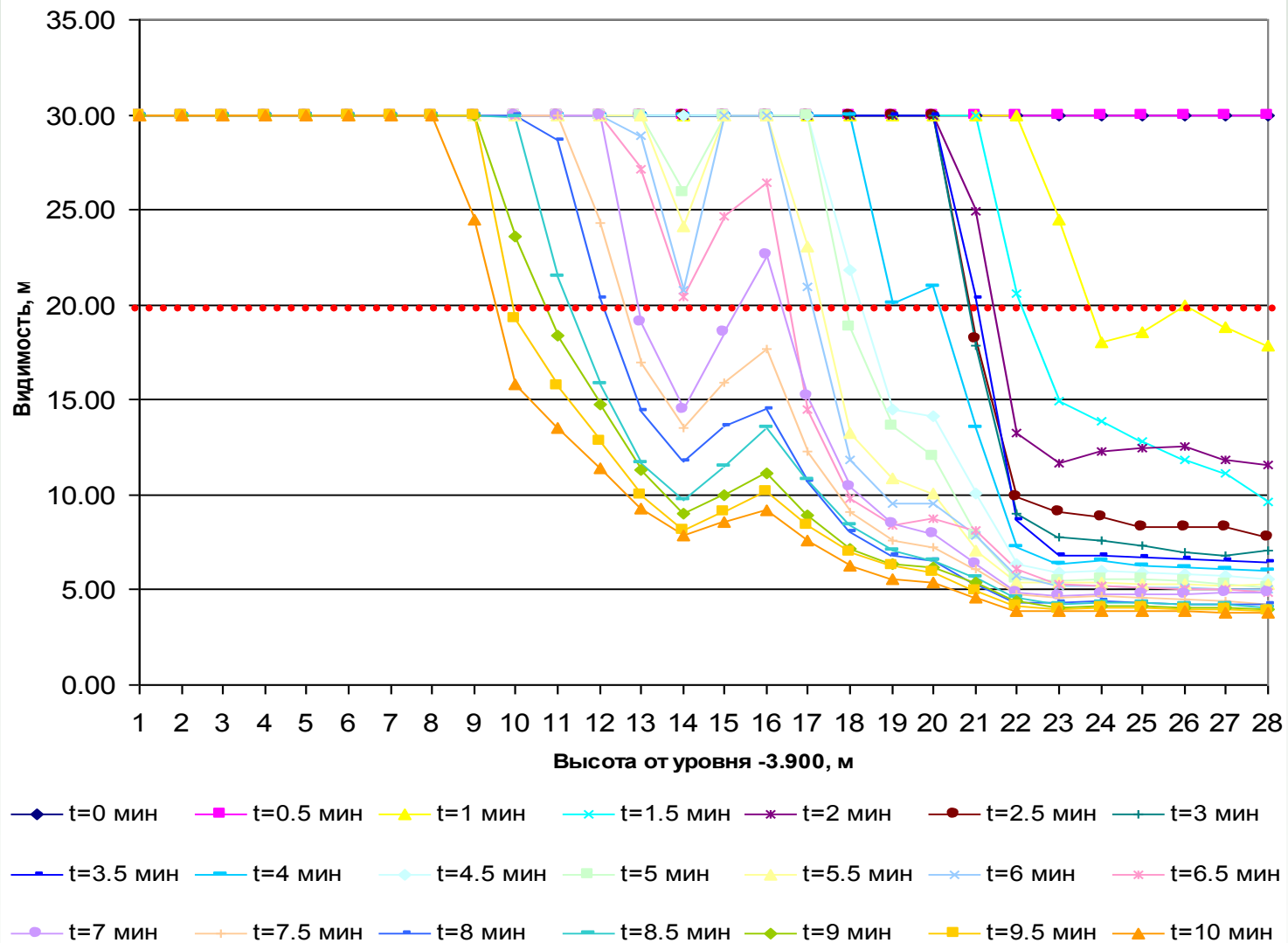
Температура в здании через 1, 3, 5 и 10 минут после начала пожара.

# Трёхмерная модель части здания



Видимость (в метрах) в здании через 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 и 10 минут  
после начала пожара.

# Трёхмерная модель части здания



Уровень видимости в здании в зависимости от высоты и от времени после начала пожара.



# РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА КРИТИЧЕСКОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПОЖАРА

Этаж	Время достижения критического значения ОФП, мин	ОФП, определяющий $t_{нб}$
-1	> 10 мин	Задымление
1	> 10 мин	Задымление
2	8.73	Задымление
3	6.05	Задымление
4	1.52	Задымление



# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Основные отличия современных методов расчета от нормативных состоят в учете **реальных параметров** возникновения, распространения и развития пожара, теплофизических и химических свойств конкретной горючей нагрузки и теплофизических свойств материала строительных конструкций.
2. Разработанные методы расчета широко используются при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. Результаты расчетов с использованием предложенных методов легли в основу технических условий пожарной безопасности ряда объектов промышленного и культурно-бытового назначения. Это позволило разработать **оптимальные варианты противопожарной защиты** с учетом обеспечения эффективности и приоритетности мероприятий по обеспечению безопасности людей при пожаре, технико-экономической целесообразности мероприятий, возможности доступа пожарных подразделений к очагу пожара и подачи средств пожаротушения.
3. Особая ценность этих методов состоит в возможности их применения для объектов, на которые **отсутствуют нормативные методы расчета** уровня пожарной безопасности (атриумы, многофункциональные здания и комплексы, закрытые горнолыжные трассы, высотные здания и т.д.).



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

4. Дальнейшее развитие математического моделирования тепломассообмена при пожаре неразрывно связано и в решающей степени определяется прогрессом в области **физического (экспериментального) моделирования пожара.**

Повышение уровня достоверности расчетных методов будет определяться решающим образом качеством и количеством накопленной экспериментальной информации о характеристиках тепломассообмена.

5. Наиболее перспективным направлением развития математического моделирования тепломассообмена при пожаре является дальнейшее совершенствование **полевого (дифференциального) подхода.** Интегральные и зонные модели термогазодинамики пожара будут в основном использоваться для оценочных расчетов или в случаях определения параметров пожаров в достаточно хорошо изученных экспериментально условиях.

6. Основными направлениями совершенствования полевых моделей являются следующие:

- развитие методов расчета параметров физико-химических процессов, происходящих **в пламенной зоне и внутри горючего материала;**
- математических моделей **турбулентного тепломассообмена и лучистого теплопереноса,** а также взаимного влияния излучения и турбулентности;
- сопряжение **тепловой и прочностной задач** для ограждающих конструкций;
- использование элементов **вероятностного подхода.**

