

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ
ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА
ПРИ РАСЧЕТЕ ПОЖАРНОГО РИСКА**

Пузач С.В.

**Заслуженный деятель науки РФ
доктор технических наук, профессор**

puzachsv@rambler.ru, www.firesafety3d.ru, 8-903-5077887

**Академия Государственной
противопожарной службы МЧС России**

ОСНОВНЫЕ НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

1. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»
2. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. - М.: Госстандарт России, 1992. - 78 с.
3. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах. Приложение к приказу МЧС России от 10.07.2009 № 404.
4. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности. Приложение к приказу МЧС России от 30.06.2009 № 382.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Пузач С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. - М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. - 336 с.
2. Пузач С.В., Смагин А.В., Лебедченко О.С., Абакумов Е.С. Новые представления о расчете необходимого времени эвакуации людей и об эффективности использования портативных фильтрующих самоспасателей при эвакуации на пожарах. - М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. – 222 с.

РАСЧЕТНЫЕ ПРОГРАММЫ

1. Пузач С.В. Интегральные, зонные и полевые методы расчета динамики опасных факторов пожара. Свидетельство об официальной регистрации программы № 2006614238 в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам от 8.12.2006 г.
2. Пузач С.В., Колобанов П.Н., Колобанова Е.С. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010614804. Evacuation (necessary time). Basic. Заявка № 2010613094 от 03 июня 2010 г. Зарегистрировано 23 июля 2010 г.

Расчеты по оценке пожарного риска проводятся путем сопоставления **расчетных величин пожарного риска** с **нормативным значением пожарного риска**, установленного Федеральным законом от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»

Определение **расчетных величин пожарного риска** осуществляется на основании:

- а) анализа пожарной опасности зданий;
- б) определения частоты реализации пожароопасных ситуаций;
- в) **построения полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития;**
- г) **оценки последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития;**
- д) **наличия систем обеспечения пожарной безопасности зданий.**

Определение расчетных величин пожарного риска заключается в расчете **индивидуального пожарного риска** для жильцов, персонала и посетителей в здании. Численным выражением индивидуального пожарного риска является частота воздействия опасных факторов пожара на человека, находящегося в здании.

Индивидуальный пожарный риск отвечает требуемому, если
(п.7 Методики):

$$Q_B \leq Q_B^H$$

где $Q_B^H = 10^{-6}$ год⁻¹ – нормативное значение индивидуального пожарного риска;
 Q_B – расчетная величина индивидуального пожарного риска.

Расчетная величина индивидуального пожарного риска Q_B в
каждом здании рассчитывается (п.8 Методики):

$$Q_B = Q_{\Pi} (1 - R_{\text{ап}}) P_{\text{пр}} (1 - P_{\text{э}}) (1 - P_{\text{п.з}}),$$

где Q_{Π} – частота возникновения пожара в здании в течение года;

$R_{\text{ап}}$ – вероятность эффективного срабатывания систем автоматического пожаротушения;

$P_{\text{пр}}$ – вероятность присутствия людей в здании, определяемая из соотношения
 $P_{\text{пр}} = t_{\text{функц}}/24$, где $t_{\text{функц}}$ – время нахождения людей в здании в часах;

$P_{\text{э}}$ – вероятность эвакуации людей;

$P_{\text{п.з}}$ – вероятность эффективной работы системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре.

Вероятность эвакуации людей определяется по следующей формуле:

$$P_{\text{э}} = \begin{cases} \frac{0,8t_{\text{бл}} - t_{\text{р}}}{t_{\text{нэ}}}, & \text{если } t_{\text{р}} < 0,8t_{\text{бл}} < t_{\text{р}} + t_{\text{нэ}} \text{ и } t_{\text{ск}} \leq 6 \text{ мин}; \\ 0,999, & \text{если } t_{\text{р}} + t_{\text{нэ}} \leq 0,8t_{\text{бл}} \text{ и } t_{\text{ск}} \leq 6 \text{ мин}; \\ 0,000, & \text{если } t_{\text{р}} \geq 0,8t_{\text{бл}} \text{ или } t_{\text{ск}} > 6 \text{ мин}; \end{cases}$$

где $t_{\text{р}}$ – расчетное время эвакуации людей, мин;

$t_{\text{нэ}}$ – время начала эвакуации (интервал времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей), мин.

$t_{\text{бл}}$ – время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них ОФП, имеющих предельно допустимые для людей значения (время блокирования путей эвакуации), мин;

$t_{\text{ск}}$ – время существования скоплений людей на участках пути (плотность людского потока на путях эвакуации превышает значение 0,5).

Опасные факторы пожара:

В соответствии с ФЗ № 123 «Техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности» (статья 9):

1. пламя и искры;
2. тепловой поток (нет в ГОСТ 12.1.004–91*);
3. повышенная температура окружающей среды;
4. повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения (CO, CO₂, HCl (ГОСТ 12.1.004–91*), HCN, COCl₂, NO₂, H₂S по «Свод правил. СП 11.13130.2009»);
5. пониженная концентрация кислорода;
6. снижение видимости в дыму

Не учтены в нормативных документах:

- наличие **мелкодисперсных твердых частиц**, вдыхание которых может привести к потере ориентации, сознания и последующему удушью;
- токсичные продукты горения и термического разложения (акролеин, оксид серы, бензол, формальдегид и др.).

СВЕДЕНИЯ ОБ ОБРАЗОВАНИИ ТОКСИЧНЫХ ГАЗОВ ПРИ СГОРАНИИ ДРЕВЕСИНЫ И ЕЁ ПРОИЗВОДНЫХ.

Токсикант	Концентрация продуктов горения, кг/м ³				
	Древесина	Древесина с лакокрас. покрытием	ДСП	Фанера ФФ	Картон «Г»
Диоксид углерода	0,22	0,016	0,18	0,12	0,129
Оксид углерода	0,026	0,0045	0,0053-0,033	0,0269	0,0054
Диоксид азота	+	+	+	+	0,00027
Хлористый водород	+	+	+	+	+
Цианистый водород	-	-	+	+	0,00006
Метанол	0,0021	+	0,0017	0,13·10 ⁻⁷	+
Формальдегид	0,015	+	0,00068	+	0,00015
Акролеин	0,001	+	0,00006	0,000091	0,0002
Ацетальдегид	0,000084	0,0015	0,0024	-0,66·10 ⁻⁶	0,00096
Уксусная кислота	0,00015	0,00024	0,0004	0,0004	+
Ацетон	0,00044	0,00018	0,001	+	0,00022
Бензол	+	0,0015	0,0008	+	+
Толуол	+	0,0008	0,0007	+	+
Кумол	+	0,00009	+	+	+
Стирол	-	-	0,0004		-
Фенол	+	0,0017	0,0002	+	0,0031
Диоксины	+	+	+	+	+

Примечания:

«+» - газ выделяется, но нет данных по концентрациям;

«-» - газ не выделяется

СОСТАВ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ ГОРЮЧЕЙ НАГРУЗКИ ПОМЕЩЕНИЙ

№	Наименование горючего материала	Удельное выделение, кг/кг					
		Оксид углерода L_{CO}	Дым, L_D	Синильная кислота, L_{HCN}	Соляная кислота, L_{HCl}	Оксиды азота, L_{NOx}	Акролеин L_{AKP}
1	Древесина	10^{-4} -0,25	$9 \cdot 10^{-3}$ - $3,4 \cdot 10^{-2}$	---	---	10^{-3} - $3 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$ - $4,86 \cdot 10^{-3}$
2	Древесина с огнезащитными добавками	$1,32 \cdot 10^{-4}$	$1,12 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-5}$	---	---	---
3	Древесина, обработанная аммонийными солями	---	---	$3 \cdot 10^{-3}$ - $2,7 \cdot 10^{-2}$	---	$3,5 \cdot 10^{-4}$ - $1,2 \cdot 10^{-3}$	---
4	Растительные материалы	---	0,15-0,3	---	---	---	---
5	Пшеница, ячмень, кукуруза, овес, подсолнечный жмых	0,2-0,26	0,13-0,16	---	---	---	$2,8 \cdot 10^{-3}$ - $6,4 \cdot 10^{-3}$
6	Линолеум, изоляция проводов	---	---	$3,2 \cdot 10^{-4}$ - $3,96 \cdot 10^{-4}$	---	---	---
7	ППУ	$9,8 \cdot 10^{-2}$ -0,1	0,1	0,01-0,03	---	$1,2 \cdot 10^{-3}$ - $6 \cdot 10^{-3}$	---
8	ПВХ	---	0,07-0,15	---	0,60	---	---
9	Акрилонитрил	---	---	$4,2 \cdot 10^{-3}$	---	---	---
10	Нефть	---	$2 \cdot 10^{-3}$	---	---	---	---
11	Нейлон	---	---	$1,63 \cdot 10^{-3}$	---	---	---
12	Бумага	---	---	$1,86 \cdot 10^{-5}$	---	---	---

--- нет данных по выделению токсичного газа.

СВОД ПРАВИЛ СП 11.13130.2009

МЕСТА ДИСЛОКАЦИИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ

Порядок и методика определения Дата введения — 2009—05—01

Приложение А (рекомендуемое). Методика определения необходимого времени эвакуации людей из помещения при пожаре

Критические концентрации токсичных продуктов горения принимаются по литературным данным для условий одноразового воздействия на эвакуирующихся в течение нескольких минут при средних физических нагрузках и по критерию сохранения ими способности реально оценивать окружающую обстановку, уверенно принимать и выполнять соответствующие решения. Для наиболее распространенных продуктов горения:

1.окись углерода $X_{CO} = 0,00116 \text{ кг/м}^3$;

2.диоксид углерода $X_{CO_2} = 0,11 \text{ кг/м}^3$;

3.хлористый водород $X_{HCl} = 0,023 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$;

4.цианистый водород $X_{HCN} = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ (смертельная концентрация в течение 5-10 мин.!!!!);

5.фосген $X_{COCl_2} = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$;

6.окислы азота $X_{NO_2} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$;

7.сероводород $X_{H_2S} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$.

8.предельная концентрация **кислорода** $X_{O_2} = 0,226 \text{ кг/м}^3$.

При отсутствии данных о критических концентрациях других токсичных продуктов соответствующие опасные факторы пожара допускается не учитывать.

Основные положения по расчету необходимого времени эвакуации

КОЭФФИЦИЕНТЫ УДЕЛЬНОГО ВЫДЕЛЕНИЯ ТОКСИЧНЫХ ГАЗОВ

Состав продуктов горения и газификации:

С В О Д П Р А В И Л **СП 11.13130.2009**

МЕСТА ДИСЛОКАЦИИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ

Приложение А (рекомендуемое). Методика определения необходимого времени эвакуации людей из помещения при пожаре

1. **окись углерода;**
2. **двуокись углерода;**
3. **хлористый водород;**
4. **цианистый водород;**
5. **фосген;**
6. **окислы азота;**
7. **сероводород**
и другие газы

Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. Учебное пособие. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.

Пузач С.В., Смагин А.В., Лебедченко О.С., Абакумов Е.С. Новые представления о расчете необходимого времени эвакуации людей и об эффективности использования портативных фильтрующих самоспасателей при эвакуации на пожарах. - М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. – 222 с.

Более подробная информация о **химическом составе** продуктов горения и газификации горючих материалов, **критических концентрациях** других токсичных газов, **воздействии токсичных газов на организм человека** и т.д. содержится в монографии

Пузач С.В., Смагин А.В., Лебедченко О.С., Абакумов Е.С. **Новые представления о расчете необходимого времени эвакуации людей и об эффективности использования портативных фильтрующих самоспасателей при эвакуации на пожарах.** - М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. – 222 с.

Некоторые особенности расчета пожарного риска

При расчете пожарного риска в общественных зданиях по «Методике определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» (приложение к приказу МЧС России от 30.06.2009 № 382) выполнение условия безопасной эвакуации людей довольно часто не выполняется из-за резкого увеличения времени начала эвакуации по сравнению с ГОСТ 12.1.004-91.

В соответствии с приложением №5 к Методике время начала эвакуации для помещения очага пожара следует принимать равным 0,5 мин., а для остальных помещений следует определять по таблице П5.1 в зависимости от класса функциональной пожарной опасности зданий, характеристик контингента людей, отсутствия или наличия системы оповещения и управления эвакуацией людей и ее типа.

Некоторые особенности расчета пожарного риска

Методика расчета необходимого времени эвакуации, утвержденная приказом МЧС, позволяет рассчитать динамику опасных факторов пожара при его свободном развитии и дает «жесткие» условия по необходимому времени. Однако в статье 79 к ФЗ №123 отмечено, что «...Риск гибели людей в результате воздействия опасных факторов пожара должен определяться с учетом функционирования систем обеспечения пожарной безопасности зданий, сооружений и строений.».

Поэтому использование методик расчета динамики ОФП с учетом работы систем пожарной безопасности позволяет существенно увеличить необходимое время эвакуации и обеспечить выполнение условия безопасной эвакуации людей, что приведет к снижению величины пожарного риска до значения, меньшего требуемого по ФЗ №123.

Некоторые особенности расчета пожарного риска

Наша методика расчета с учетом действия систем пожарной безопасности апробирована на экспериментальных данных и внесена в список нормативных методик :

Пузач С.В., Чумаченко А.П.

*Рекомендации по оптимизации действия систем
пожаротушения, дымоудаления и вентиляции при пожарах.*

Правительство Москвы. Москомархитектура. 2005.

Утверждены приказом Москомархитектуры

от 30.05.2005 № 72.

*Согласованы с УГПС МЧС России г. Москвы,
Москомархитектурой.*

www.firesafety3d.ru

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ДИНАМИКИ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ
ПОЖАРА
В ПОМЕЩЕНИИ**

www.firesafety3d.ru

Классификация современных методов расчета динамики ОФП

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

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ

Определяются зависимости
среднеобъемных величин ОФП от
времени:

$$\text{ОФП}_m = f(\tau)$$

ЗОННЫЕ

Определяются зависимости от времени:

1. среднеобъемных величин ОФП в припотолочном слое: $\text{ОФП}_2 = f(\tau)$;
2. распределения термогазодинамических параметров по высоте конвективной колонки: $\text{ТГП}_1 = f(z, \tau)$

ПОЛЕВЫЕ (ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ)

Определяются поля величин ОФП от времени:

$$\text{ОФП} = f(x, y, z, \tau)$$

Интегральные методы расчета

В интегральных методах расчета находятся 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 теплообмена через проемы.

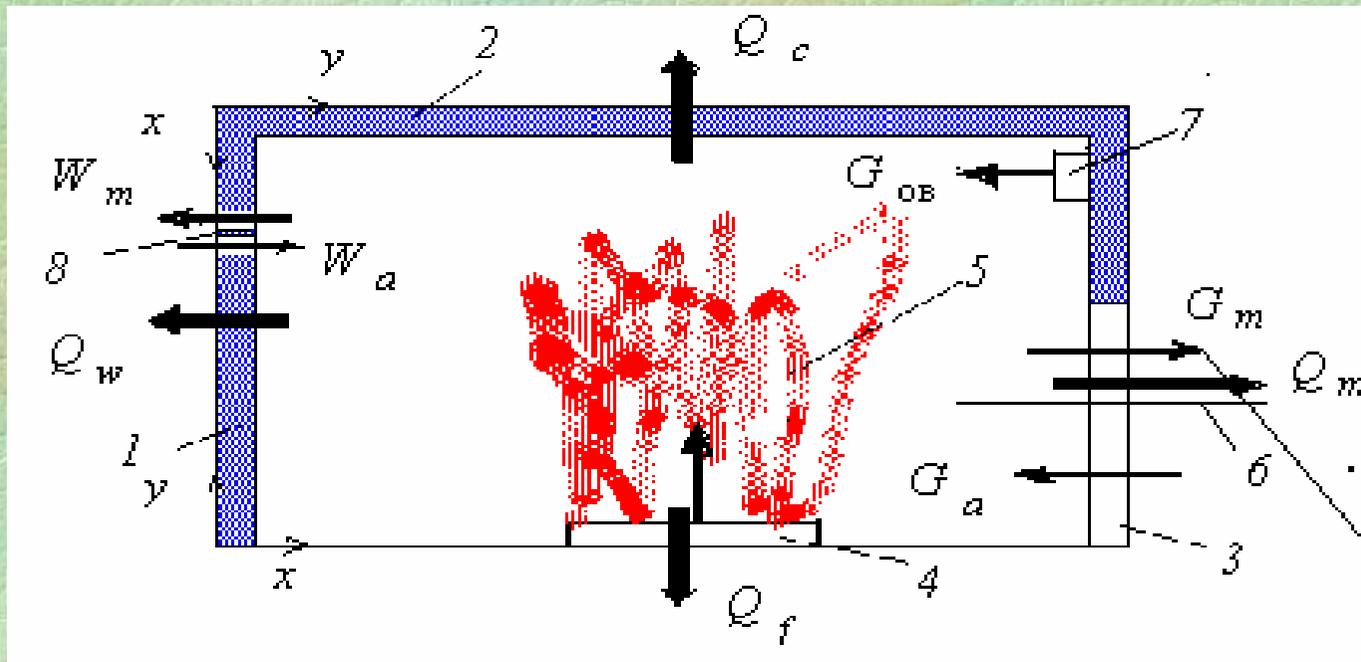
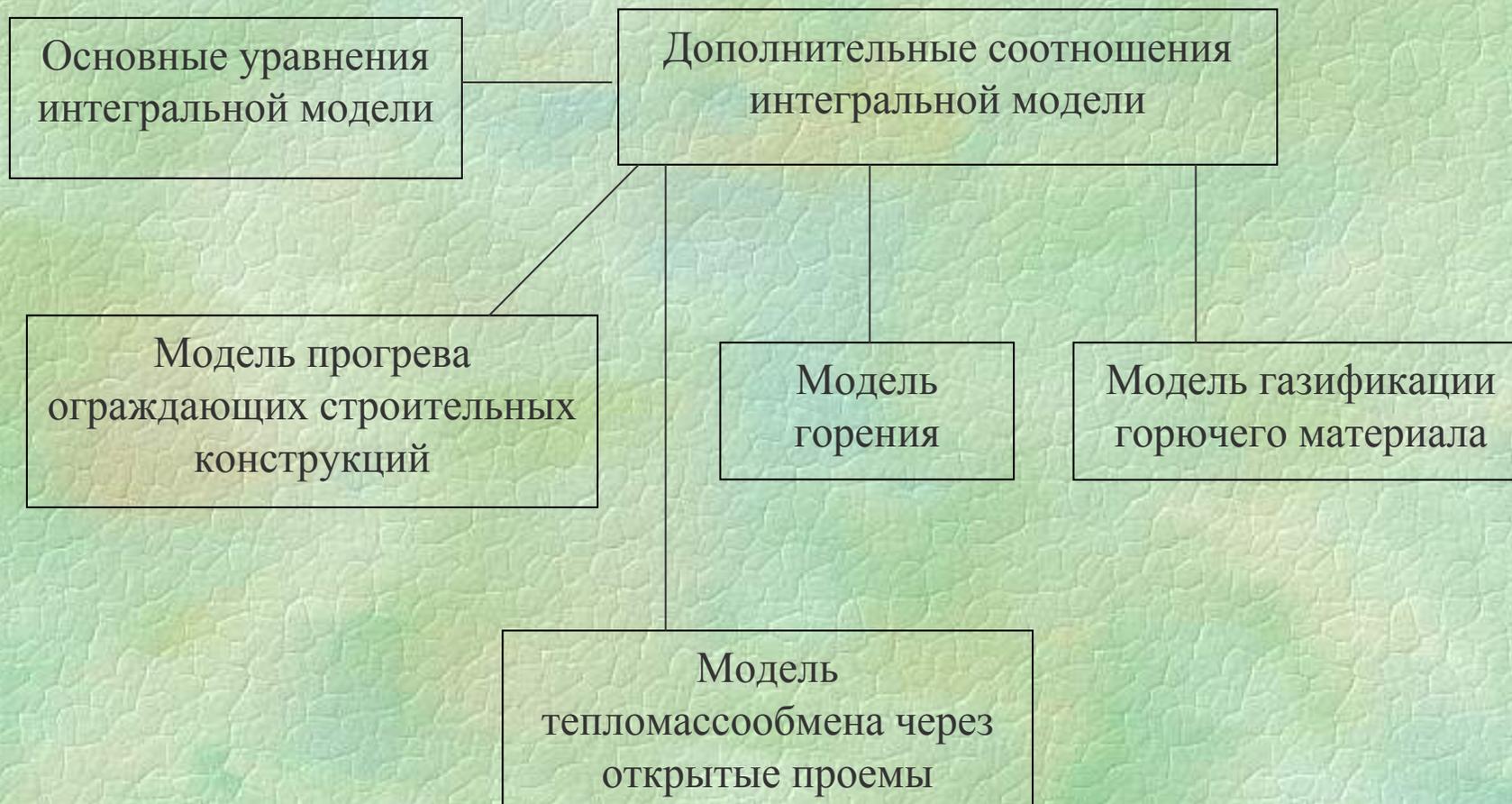


Схема тепломассообмена : 1 – стены; 2 – перекрытие; 3 - открытый проем; 4 - горючий материал; 5 - очаг горения; 6 - нейтральная плоскость; 7 - система пожаротушения; 8 - механическая приточно-вытяжная вентиляция

ИНТЕГРАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ структура



ИНТЕГРАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

Основное преимущество: быстрой 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:

$$\text{ОФП}_{pz} = f(\text{ОФП}_{cp}, Z);$$

где $Z = \frac{h_{pz}}{H} \exp\left(1,4 \frac{h_{pz}}{H}\right)$, h_{pz} — высота рабочей зоны; H — высота помещения.

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

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА В ЗДАНИЯХ, СООРУЖЕНИЯХ И СТРОЕНИЯХ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

Приложение 5

Порядок проведения расчета и математические модели для определения времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО МЕТОДА:

1. для зданий и сооружений, содержащих **развитую систему помещений малого объема простой геометрической конфигурации;**
2. для помещений, где **характерный размер очага пожара соизмерим с характерными размерами помещения** и размеры помещения соизмеримы между собой (**линейные размеры помещения отличаются не более чем в 5 раз**);
3. для **предварительных расчетов** с целью выявления наиболее опасного сценария пожара

ФОРМУЛЫ ГОСТ 12.1.004-91 (АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ИНТ. МОДЕЛИ)

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:

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

по потере видимости:

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

по понижен. содержанию
кислорода:

$$\tau_{кр}^{O_2} = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left[1 - \frac{0,044}{\left(\frac{B L_{O_2}}{V} + 0,27 \right) Z} \right]^{-1} \right\}^{1/n}$$

по каждому из газообразных токсичных продуктов горения:

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

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.

Зонные методы расчета

В зонных методах расчета определяются 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.

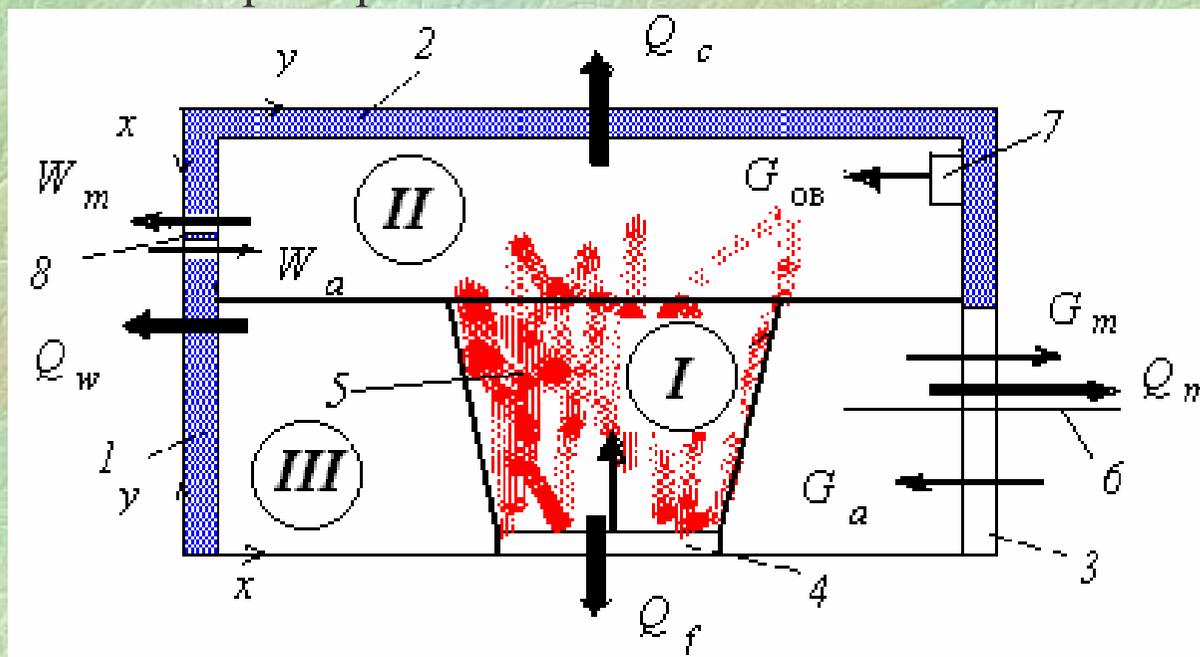
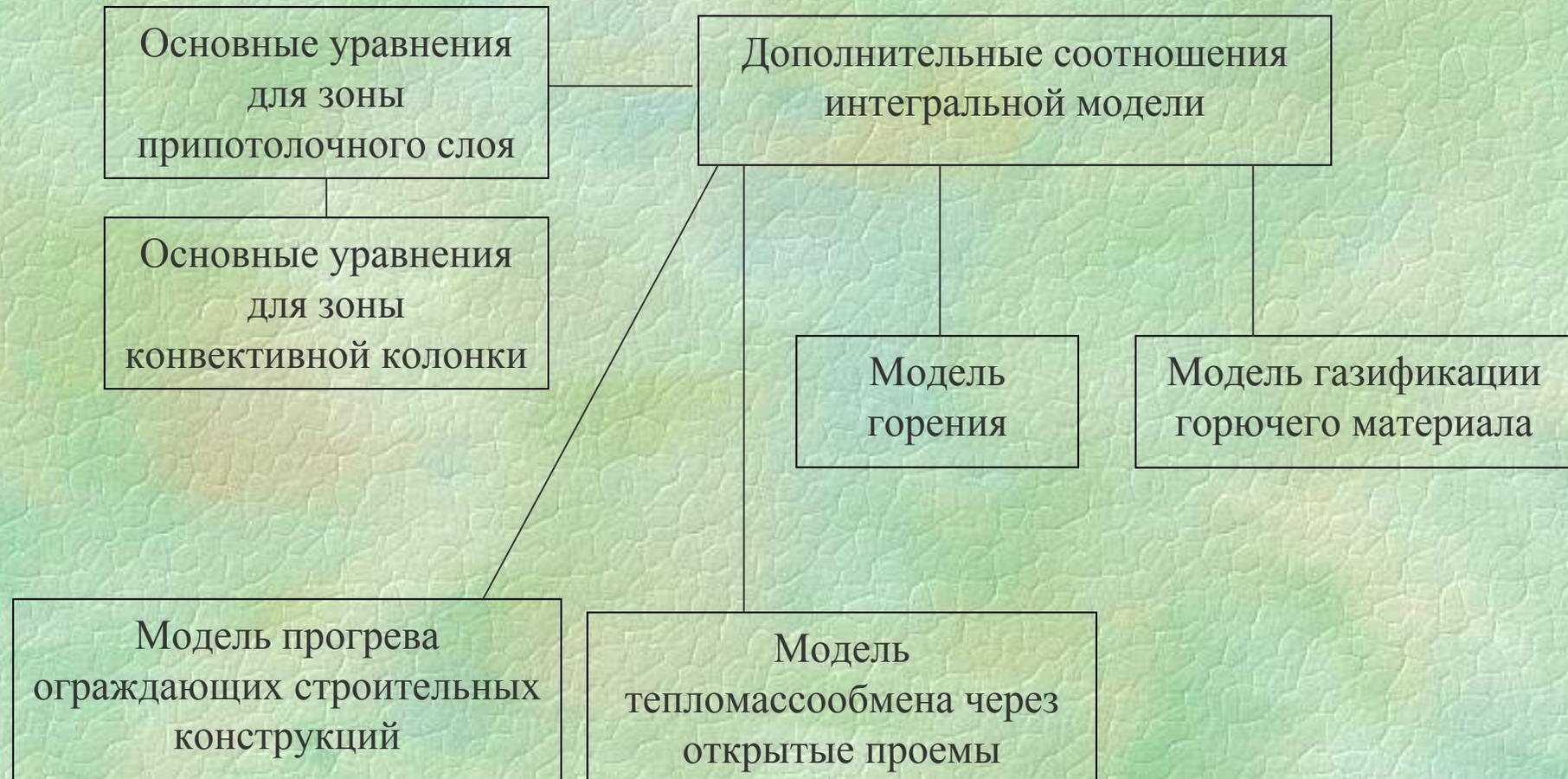


Схема тепломассообмена : 1 – стены; 2 – перекрытие; 3 - открытый проем; 4 - горючий материал; 5 - очаг горения; 6 - нейтральная плоскость; 7 - система пожаротушения; 8 - механическая приточно-вытяжная вентиляция; I, II, III - номера зон

ЗОННАЯ МОДЕЛЬ

структура



ЗОННАЯ МОДЕЛЬ

Основные преимущества:

- быстрой 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.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА В ЗДАНИЯХ, СООРУЖЕНИЯХ И СТРОЕНИЯХ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

Приложение 5

Порядок проведения расчета и математические модели для определения времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЗОНАЛЬНОГО МЕТОДА:

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**).

В отличие от интегральных моделей зональный метод может использоваться:

1. для помещений большого объема, когда **размер очага пожара существенно меньше размеров помещения**;
2. для рабочих зон, расположенных на **разных уровнях в пределах одного помещения** (наклонный зрительный зал кинотеатра, антресоли и т.д.)

Полевые методы расчета

Наиболее подробное описание процессов теплообмена 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

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, тепломассообменная 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.

Обозначения в обобщенном дифференциальном уравнении полевой модели:

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

Φ – зависимая переменная (энтальпии газовой смеси и материала стен и перекрытия (i, i_w, i_c), проекции скорости на координатные оси (w_x, w_y, w_z), концентрации компонентов газовой смеси ($X_{CO}, X_{CO_2}, X_{O_2}, X_{HCl}, X_{HCN}$ и др.), кинетическая энергия турбулентности (k) и скорость ее диссипации (e), массовая концентрация (D_m) и оптическая плотность дыма $D_{оп}$); Γ – коэффициент диффузии для Φ ; S – источник член для Φ .

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА В ЗДАНИЯХ, СООРУЖЕНИЯХ И СТРОЕНИЯХ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

Приложение 5. Порядок проведения расчета и математические модели для определения времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛЕВОГО МЕТОДА:

1. 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.);
2. для помещений, в которых **один из геометрических размеров гораздо больше (меньше) остальных** (тоннели, закрытые автостоянки большой площади и т.д.);
3. 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.)

Основные положения по расчету необходимого времени эвакуации

МЕТОДИКА РАСЧЕТА:

- 1. СБОР ИСХОДНЫХ ДАННЫХ;**
- 2. ВЫБОР СЦЕНАРИЕВ РАЗВИТИЯ ПОЖАРА;**
- 3. ВЫБОР МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ;**
- 4. ВЫБОР МЕТОДА ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ МОДЕЛИ ИЛИ ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА НА ЭВМ;**
- 5. РАСЧЕТ ТЕПЛОМАССОБМЕНА ПРИ ПОЖАРЕ В ПОМЕЩЕНИИ, ПРОГРЕВА ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И ДИНАМИКИ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА;**
- 6. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА.**

Основные положения по расчету необходимого времени эвакуации

СБОР ИСХОДНЫХ ДАННЫХ включает в себя выбор численных значений параметров, входящих в математическую модель, с помощью анализа:

1. объемно-планировочных решений объекта;
2. конструктивных решений объекта;
3. размещения, вида и количества горючей нагрузки.

По **объемно-планировочным и конструктивным решениям** определяются **геометрические характеристики задачи**. Составляется схема привязки к помещению ортогональной системы координат.

Основные положения по расчету необходимого времени эвакуации

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЪЕКТА:

- - помещение:

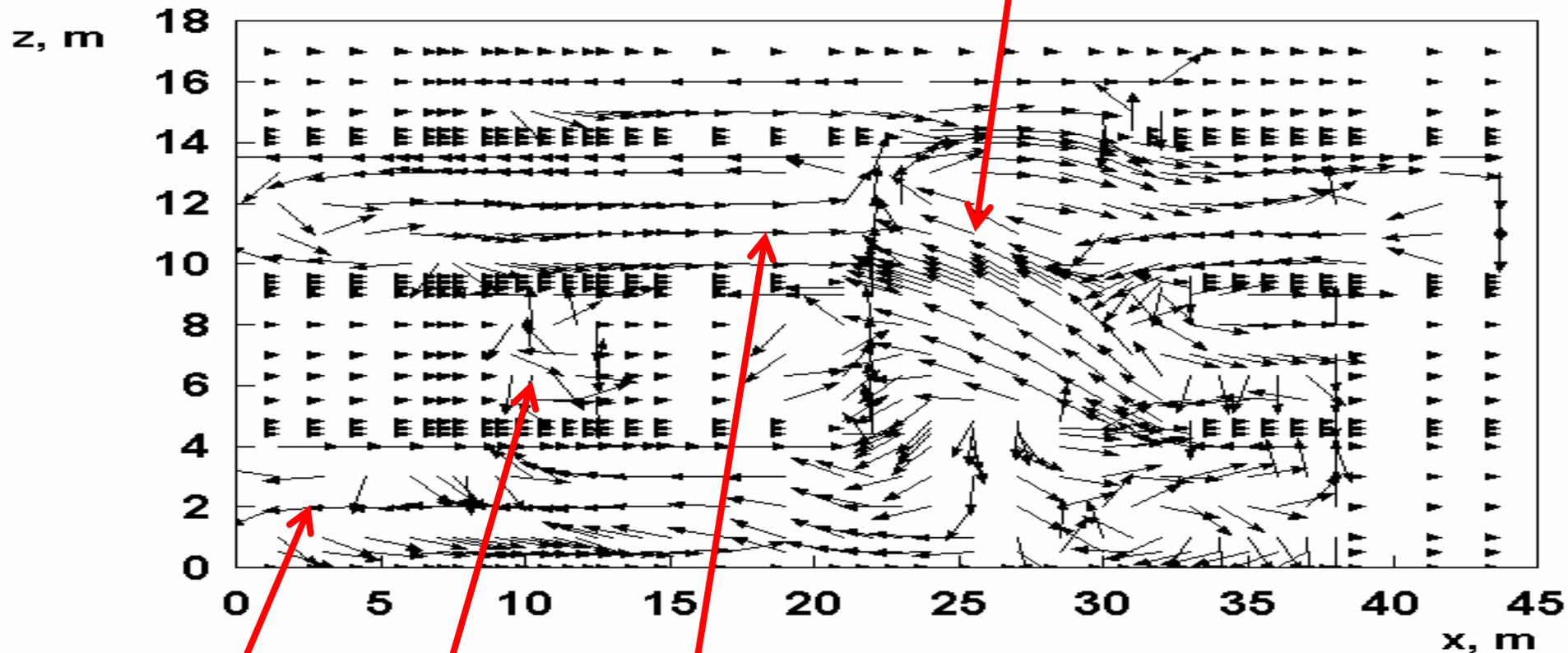
в форме параллелепипеда: длина, ширина, высота;

произвольной формы: координаты поверхностей ограждающих конструкций;

- - координаты граничных поверхностей громоздких предметов, находящихся в помещении;
- - двери: высота, ширина и координаты одного нижнего угла двери (для каждой двери);
- - окна: высота, ширина и координаты одного угла окна (для каждого окна);
- - горючая нагрузка: координаты границ открытой поверхности горючего материала или источника натекания газа.

Пример сложной геометрии здания (продольный разрез)

Атриум



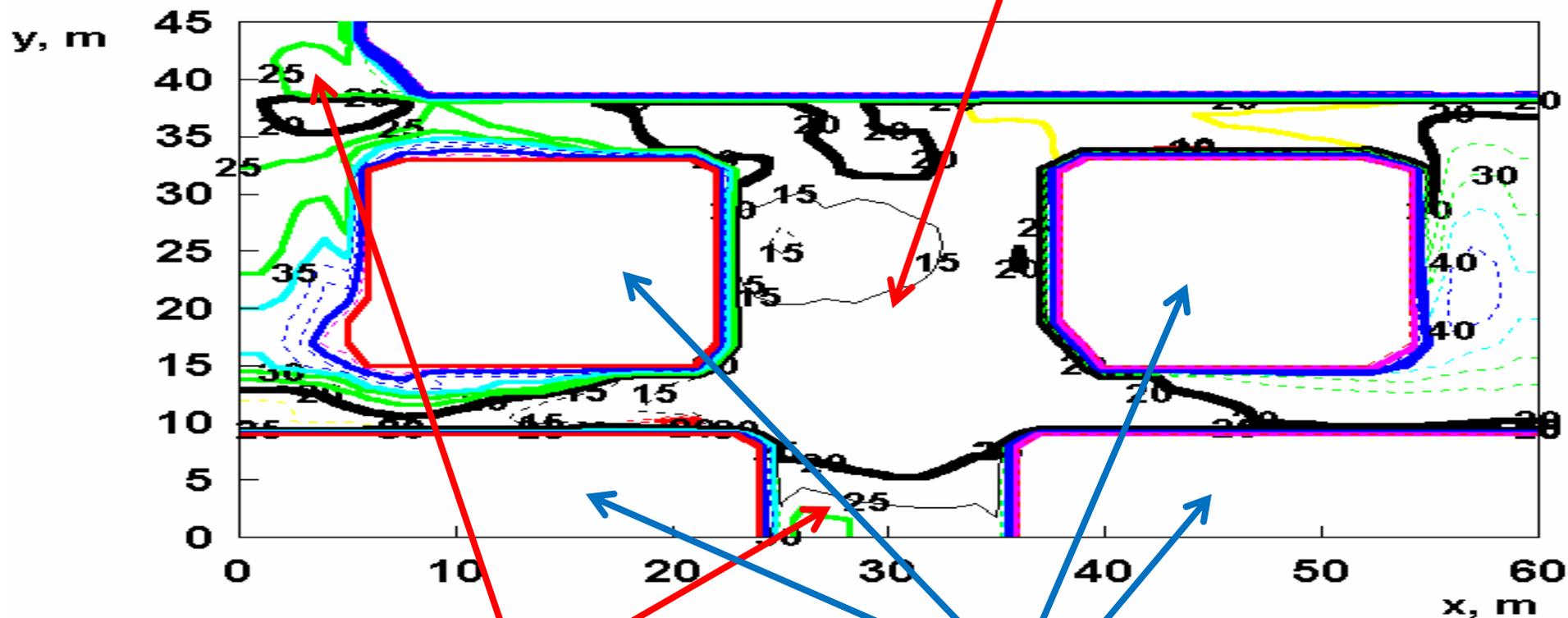
1 этаж

2 этаж

3 этаж

Пример сложной геометрии здания (план 1-го этажа)

Атриум



Выходы наружу

Помещения

Основные положения по расчету необходимого времени эвакуации

Из анализа объемно-планировочных решений, назначения и характеристик помещения, а также размещения, вида и количества типовой горючей нагрузки находятся следующие **теплофизические и химические свойства**, а также **другие характеристики горючей нагрузки**:

- - низшая рабочая теплота сгорания;
- - удельная скорость выгорания;
- - потребление кислорода при горении;
- - удельное дымовыделение;
- - удельное выделение **каждого токсичного газа**;
- - скорость распространения пламени (в случае твердого горючего материала);
- - время стабилизации горения (в случае горючей жидкости);
- - суммарная масса горючей нагрузки.

Основные положения по расчету необходимого времени эвакуации

Задаются **начальные условия**:

- - температура газовой среды помещения перед пожаром;
- - температура наружного воздуха;
- - давление в газовой среде помещения перед пожаром;
- - давление в наружном воздухе на уровне пола помещения.

В качестве **физических условий** задаются:

- - теплофизические свойства компонентов газовой среды;
- - теплофизические свойства материала ограждающих конструкций;
- - теплофизические и химические свойства горючего материала.

Основные положения по расчету необходимого времени эвакуации

В качестве **граничных условий** задаются:

- - на внутренних поверхностях строительных конструкций:

проекция скоростей равны нулю:

для уравнения энергии: $q_{\Sigma} = q_{\text{л}} + q_{\text{к}}$, где $q_{\text{л}}$ – плотность лучистого теплового потока; $q_{\text{к}}$ – плотность конвективного теплового потока;

для остальных параметров Φ (обобщенное уравнение) принимается, что $\partial\Phi / \partial n = 0$

где n – нормаль к поверхности;

- - на открытых проемах:

для всех параметров Φ принимается, что в области истечения газа наружу;

в области поступления наружного воздуха внутрь давление, температура и концентрации компонентов соответствуют параметрам атмосферного воздуха (смесь кислорода и азота);

- - на наружных поверхностях ограждающих конструкций:

граничные условия теплообмена;

параметры наружного воздуха: температура, скорость и направление ветра и давление;

- - на открытой поверхности горючего материала:

проекция скорости перпендикулярно поверхности горючего материала;

плотность продуктов горения.

Основные положения по расчету необходимого времени эвакуации

- Действие **систем пожаротушения** задается граничными условиями по поверхностям отверстий, через которые огнетушащее вещество подается в помещение.

В качестве геометрических условий задаются координаты граничных поверхностей отверстий, через которые подается огнетушащее вещество.

При **тушении водой** на поверхностях отверстий, через которые вода подается в помещение, задается проекция скорости на ось, перпендикулярную поверхности отверстия:

$$w_{\text{пт}} = G_{\text{в}} / (\rho_{\text{в}} \cdot F_{\text{пт}}),$$

где $G_{\text{в}}$ – массовый расход подачи воды, кг/с; $\rho_{\text{в}}$ - плотность воды, кг/м³

При **тушении инертным газом** (в том числе водяным паром) на поверхностях отверстий, через которые газ подается в помещение, задается проекция скорости на ось, перпендикулярную поверхности отверстия:

$$w_{\text{пт}} = G_{\text{иг}} / (\rho_{\text{иг}} \cdot F_{\text{пт}}),$$

где $G_{\text{иг}}$ – массовый расход подачи инертного газа, кг/с; $\rho_{\text{иг}}$ - плотность инертного газа, кг/м³; $F_{\text{пт}}$ – площадь поверхности отверстия, м².

Основные положения по расчету необходимого времени эвакуации

- Действие систем **механической вентиляции и дымоудаления** задается граничными условиями по поверхностям вентиляционных отверстий и люков дымоудаления.

В качестве геометрических условий задаются координаты граничных поверхностей вентиляционных отверстий и люков дымоудаления.

На поверхностях вентиляционных отверстий **приточной вентиляции** задается проекция скорости:

$$w_{\text{пр}} = W_{\text{пр}} / F_{\text{пр}},$$

где $W_{\text{пр}}$ - объемная производительность приточной механической вентиляции, м³/с; $F_{\text{пр}}$ - площадь поверхности вентиляционного отверстия, м².

На поверхностях отверстий **системы дымоудаления** задается проекция скорости :

$$w_{\text{д}} = W_{\text{д}} / F_{\text{д}},$$

где $W_{\text{д}}$ - объемная производительность системы дымоудаления, м³/с; $F_{\text{д}}$ - площадь поверхности отверстия, через которое удаляется дым, м².

Отличие от зарубежных программ FDS и SOFIE и отечественных программ, разработанных фирмой СИТИС:

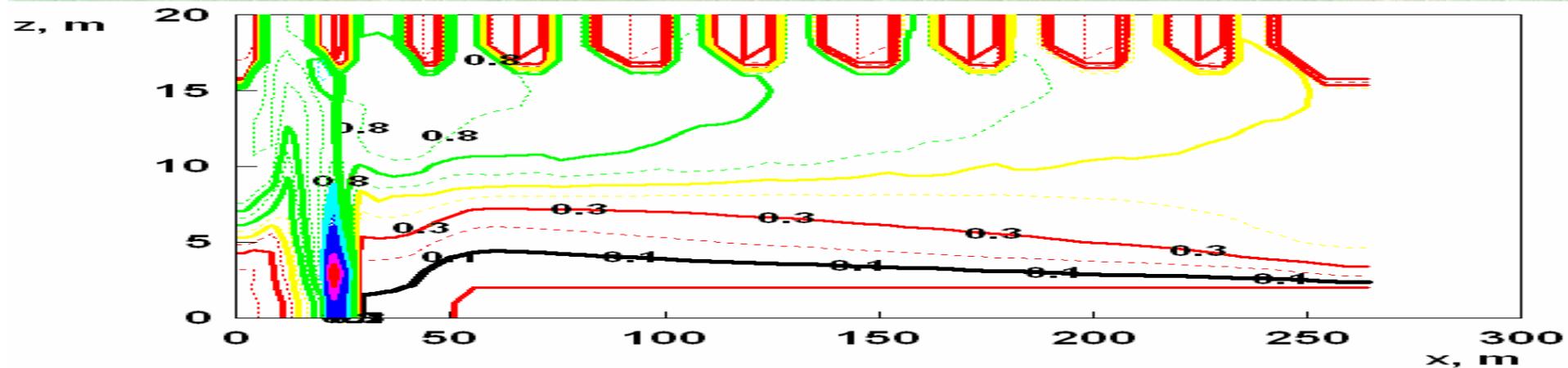
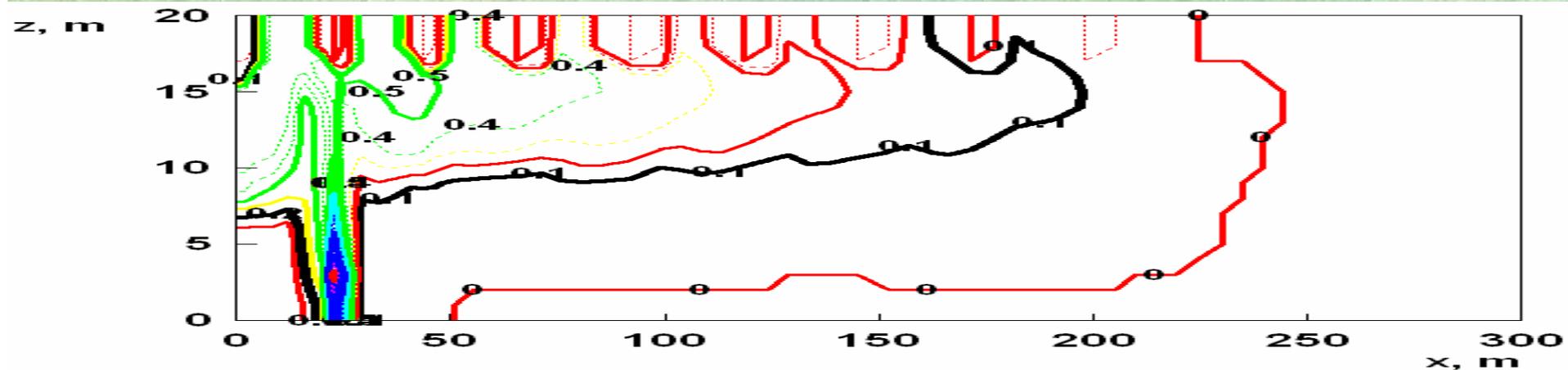
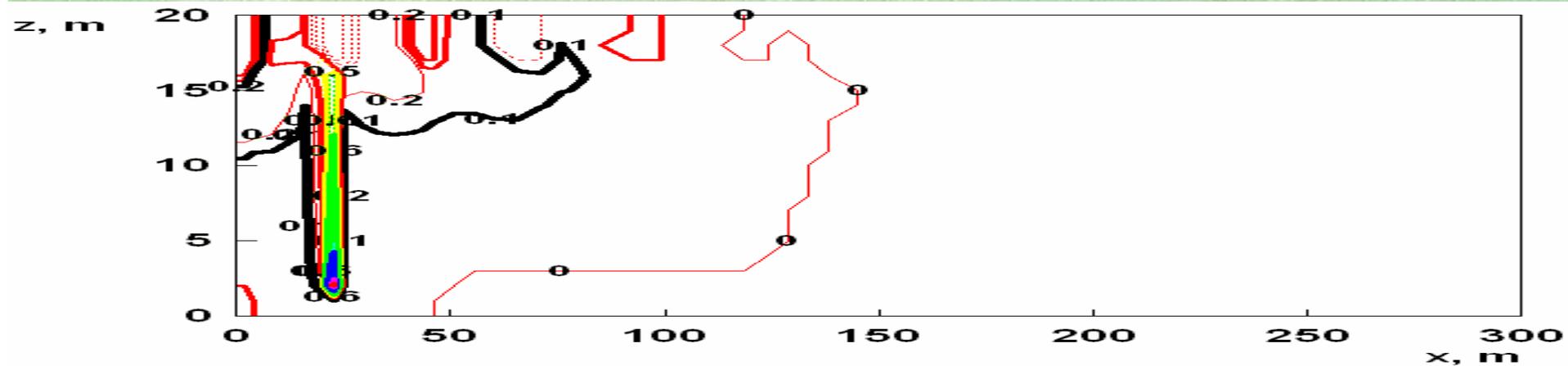
- - существенно меньшее машинное время расчета (за счет использования полностью консервативной конечно-разностной схемы и оптимизации вычислительного процесса);
- - менее трудоемкое построение конечно-разностной сетки для помещений сложной геометрии (используется односвязная область расчета с блокированием ячеек, находящихся внутри строительных конструкций);
- - база данных горючей нагрузки одинакова для интегральных, зонных и полевых моделей и не требует дополнительных соотношений при использовании полевой модели;
- - база данных горючей нагрузки включает в себя данные по выделению 8-ти токсичных газов в отличие от разработанной ВНИИПО (3 газа).

Пример расчета пожарного риска на производственном объекте (ГЭС)

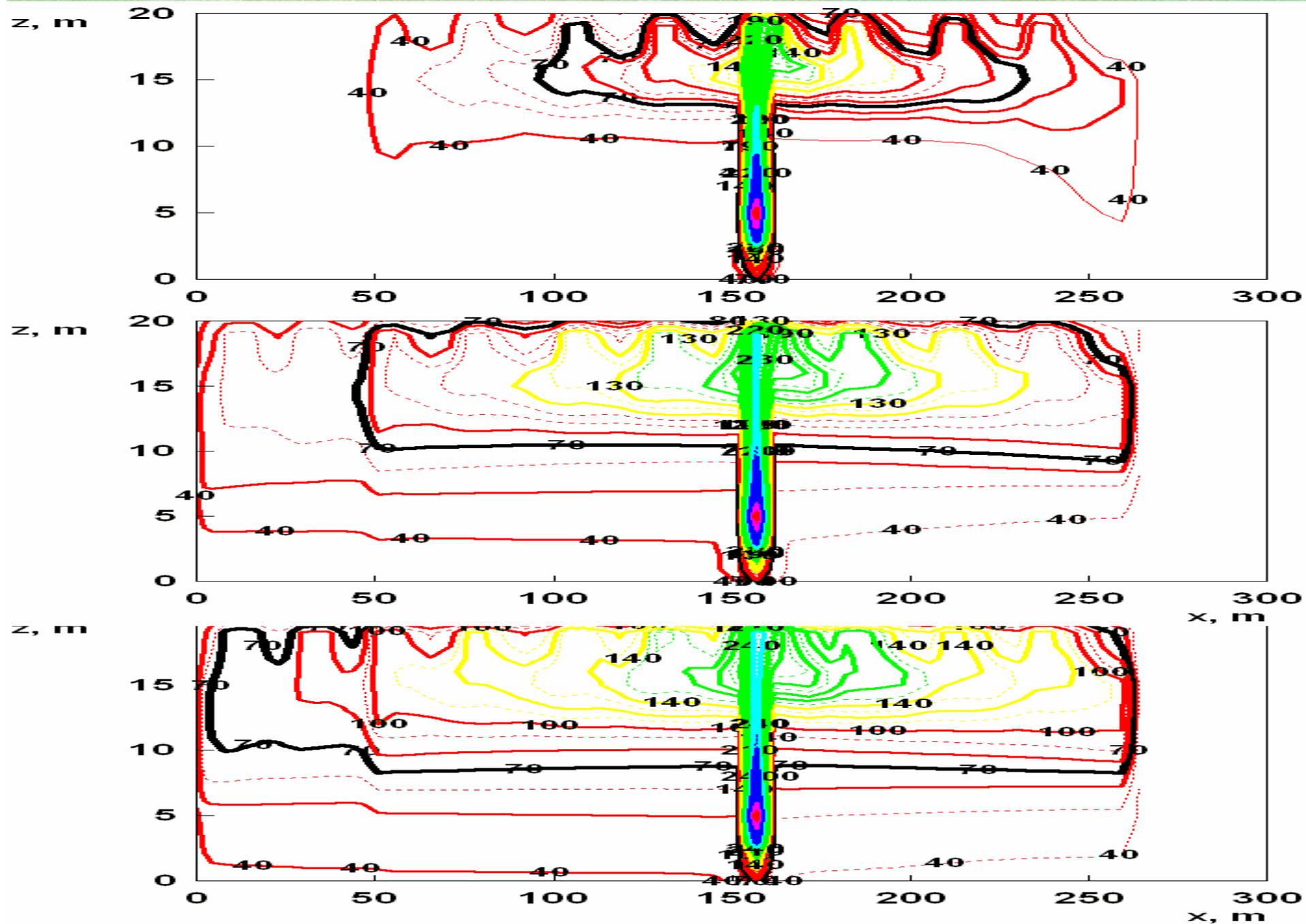


www.firesafety3d.ru

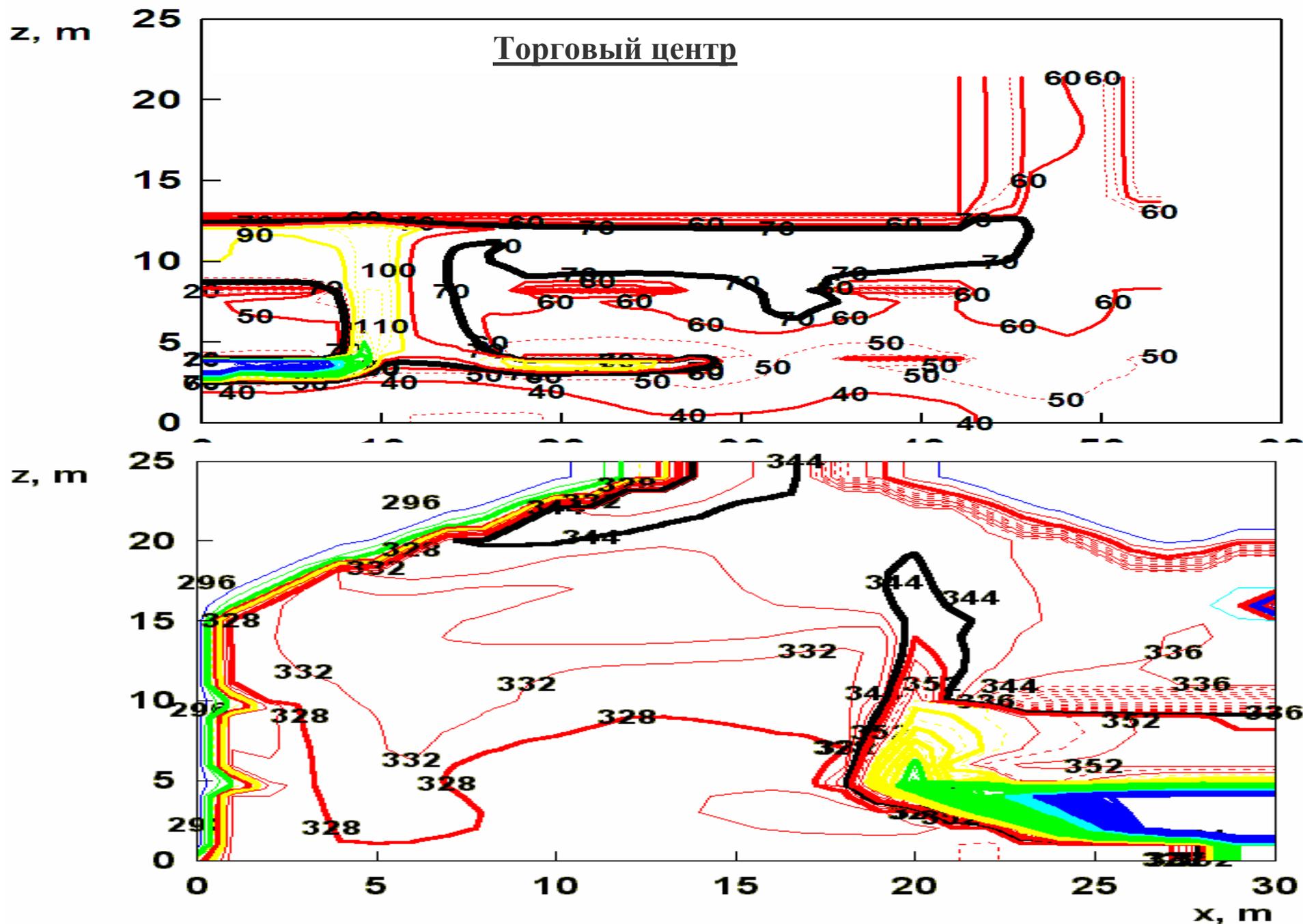
Возгорание упаковки в машинном зале ГЭС



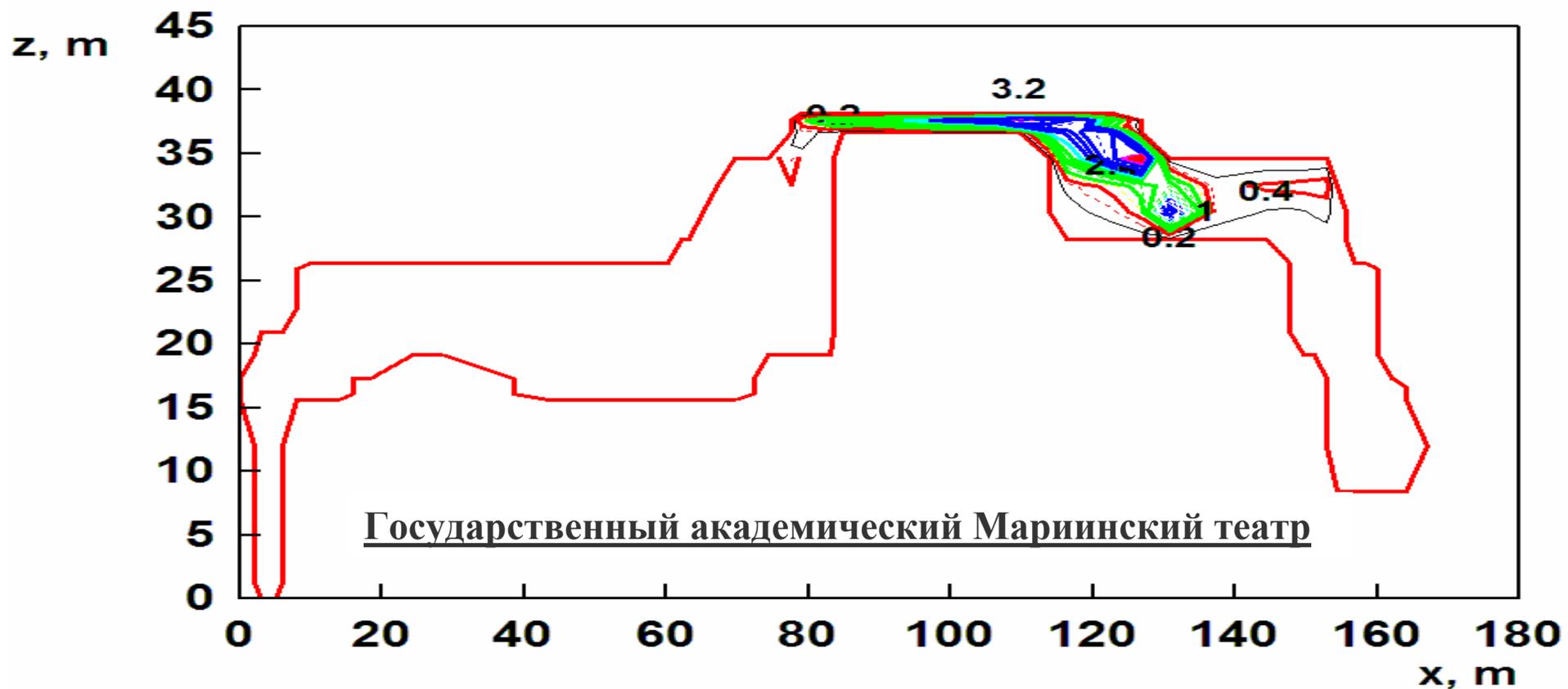
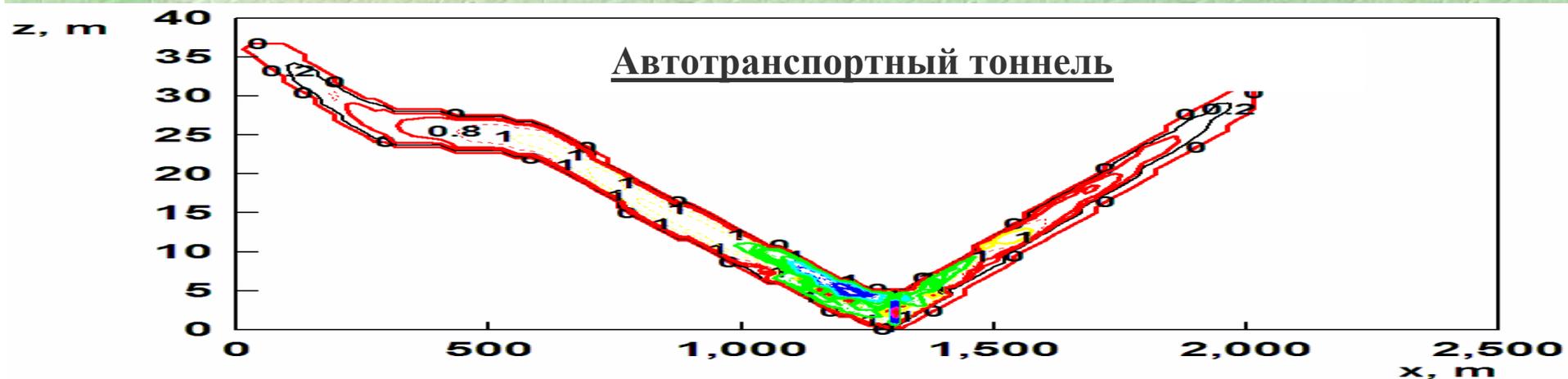
Горение пролива турбинного масла в машинном зале ГЭС



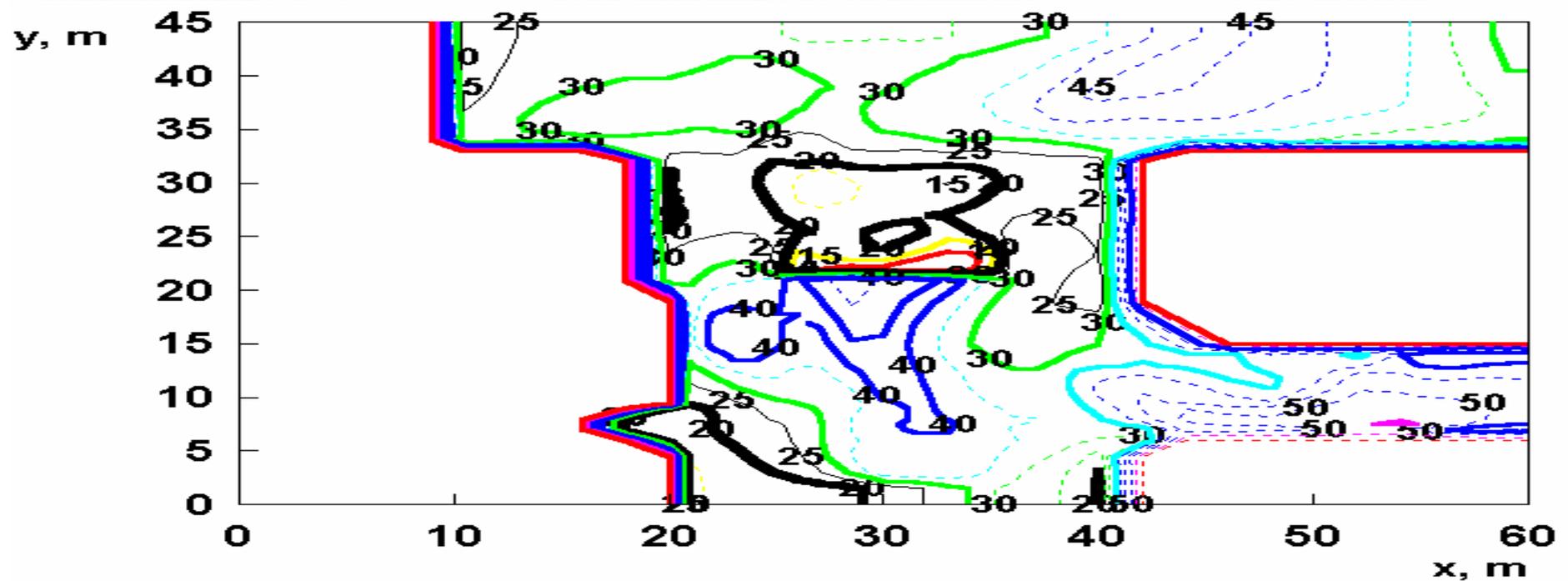
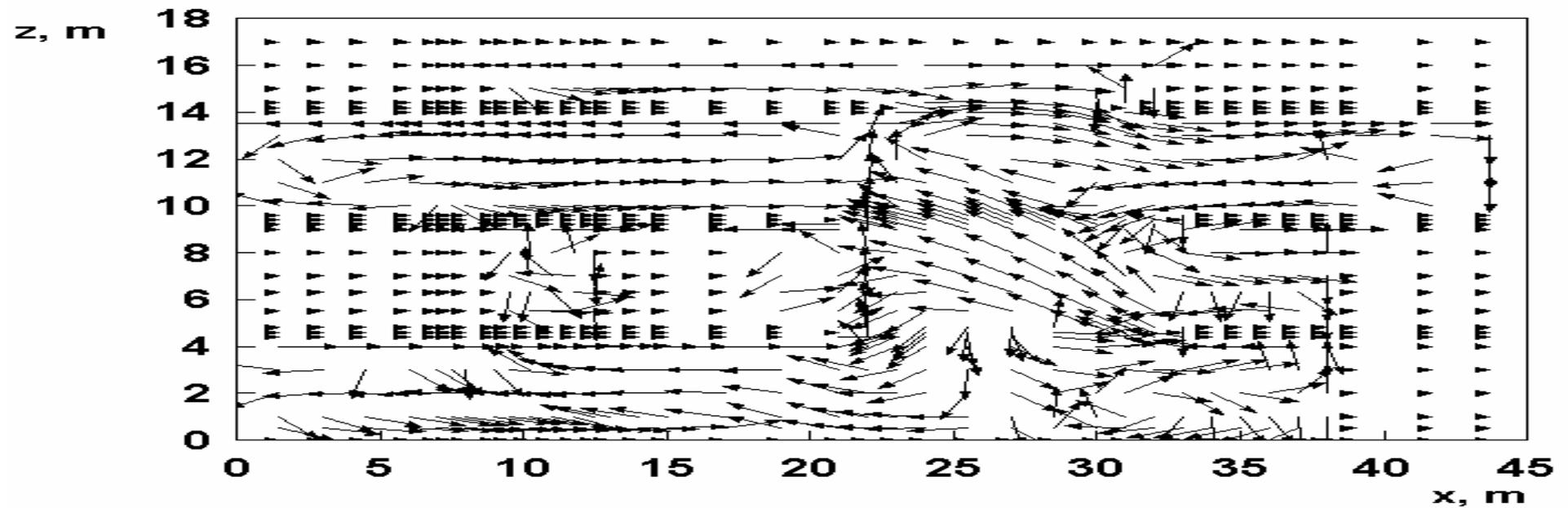
Примеры сложной геометрии общественных зданий



Примеры сложной геометрии объектов

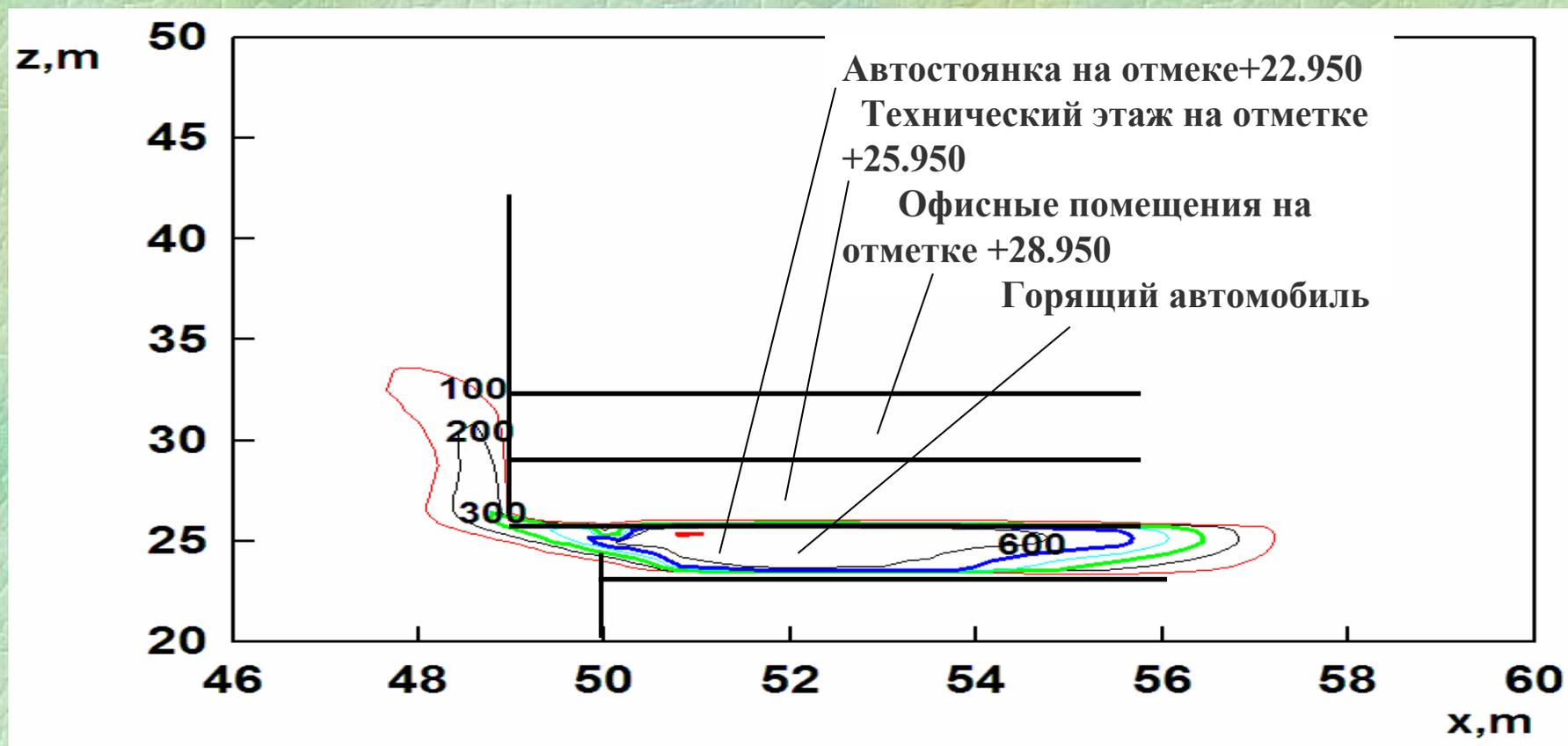


Примеры сложной геометрии объектов



РАСЧЕТ

влияния динамики опасных факторов пожара при пожаре на открытой автостоянке на отметке +22.950 на состояние остекления офисных помещений на отметке +28.950 административно-офисного здания со встроенной автостоянкой



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- **Современный уровень развития теории тепломассообмена и вычислительной математики позволяет достоверно проводить расчет динамики опасных факторов пожара на объектах со сложной геометрией**
- **Использование коммерческих продуктов**
 - **требует необходимой квалификации пользователя**
 - **может привести к существенным погрешностям в определении величины пожарного риска и получении физически ошибочным результатам**