Лекция по теме № 1

Параметры пожаров.
Открытые и внутренние пожары

Учебные вопросы:

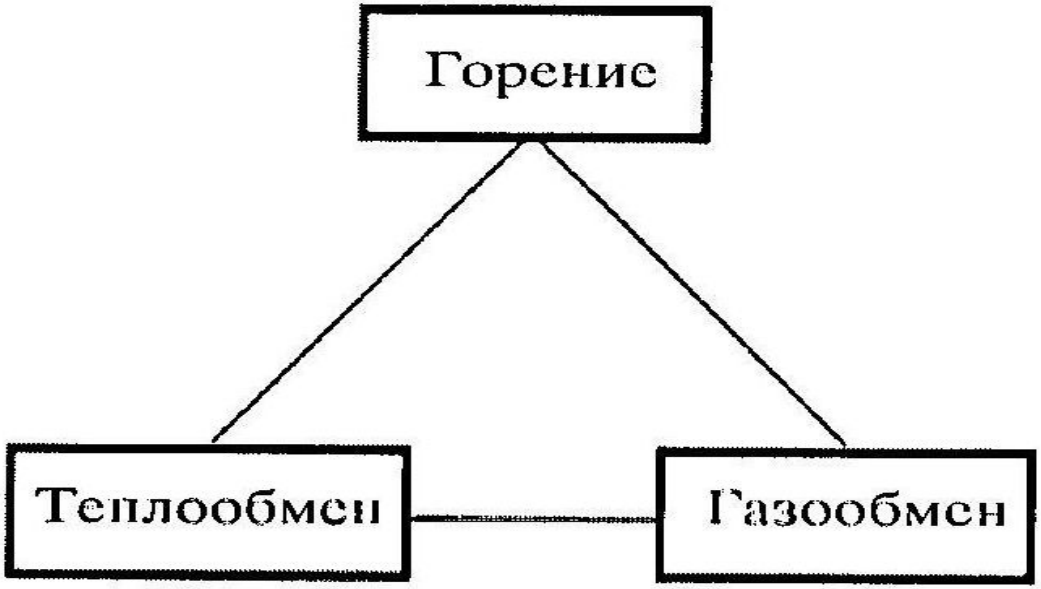
1. Параметры пожаров
2. Классификация пожаров
3. Открытые пожары: газовых фонтанов, резервуаров, твёрдых горючих веществ
4. Основные процессы и параметры внутренних пожаров.

Литература

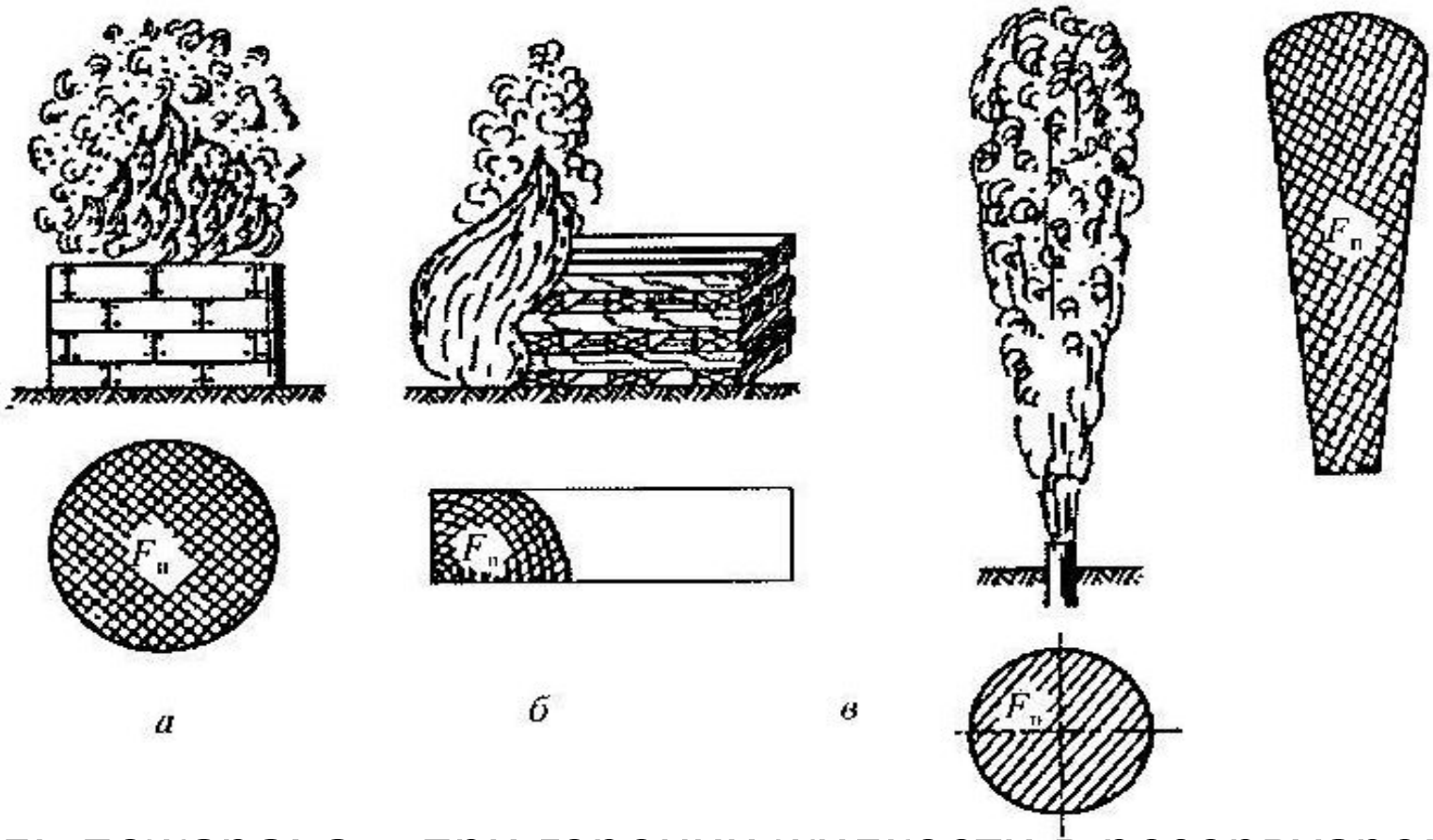
1. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. Учебное пособие. Марков В.Ф., Маскаева Л.Н. и др. Екатеринбург: УрО РАН, 2009 г., с. 97-109, 154-237
2. ГОСТ 12.1.044-89. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.

1. Основные параметры пожаров

Пожар представляет собой комплекс взаимосвязанных процессов горения, теплообмена и газообмена, которые служат причиной вторичных явлений: задымления, объемной вспышки, взрыва, обрушения и т.д.



1. Площадь пожара, Fп – площадь проекции зоны горения на горизонтальную или вертикальную плоскость.



Площадь пожара: а – при горении жидкости в резервуаре; б - при горении штабеля пиломатериалов; в – при горении газонефтяного фонтана.

2. *Продолжительность пожара, $\tau_п$, мин.* – время с момента ***его возникновения до полного прекращения*** горения.

3. Температура пожара, $t_п$, ^{0}С или К.

Для ***открытых*** пожаров за $t_п$ принимают ***температуру пламени*** (от 1200 до 2900^{0}С).

Для ***внутренних*** пожаров за $t_п$ принимают ***среднеобъемную температуру газовоздушной среды*** в помещении. Она редко превышает 1000^{0}С.

4. Величина пожарной нагрузки, $P_{п.н.}$, кг/м^2
– это масса всех горючих и трудногорючих материалов, приходящихся на 1 м^2 площади их размещения:

$$P_{пн} = \frac{\sum_i M_i}{F}$$

где ΣMi - общая масса всех горючих и трудногорючих материалов, кг;
F – площадь пола помещения или открытой площадки, м^2.

Пожарную нагрузку разделяют на ***постоянную и временную.***

5. Площадь поверхности горения, $F_{пг}$, м^2 – ***реальная площадь поверхности*** горючего вещества, участвующего в горении.
Величина **$F_{пг}$** определяет ***интенсивность выделения тепла при пожаре***

6. Коэффициентом поверхности горения называют отношение площади поверхности горения, **$F_{пг}$,** к площади пожара, **$F_п$**:

$$K_{пг} = \frac{F_{пг}}{F_п}$$

7. Линейная скорость распространения пожара, $v_л$, м/с – это скорость распространения ***фронта пламени по поверхности горючего материала***, она зависит:

- от природы, вида и геометрии горючего материала;
- исходной температуры;
- интенсивности газообмена;
- метеорологических условий.

8. Массовой скоростью выгорания, $v_м$, кг/с, называется ***масса пожарной нагрузки, выгоревшей в единицу времени***

Различают ***приведенную массовую скорость выгорания, v',*** т. е. на 1 м^2 площади пожара:

$$v'_м = \frac{V_м}{F_п}$$

и ***удельную массовую скорость выгорания*** $\bar{v}$ ***кг/(с▪м^2), кг/(мин▪м^2)*** - массу выгоревшей пожарной нагрузки в единицу времени на единицу пощади поверхности горения:

$$\bar{v}_м = \frac{V_м}{F_{пг}}$$

Объемной скоростью выгорания, $v_{об}$, , м^3/(м^2▪с) называется объем пожарной нагрузки, выгорающий в единицу времени с единицы площади.

Горючие вещества и материалы ***различаются по своей теплотворной способности***.

9. Это учитывает показатель ***теплового эквивалента пожарной нагрузки, q, МДж/м²***:

$$q = \frac{\sum_i M_i \bullet Q_i}{F}$$

где Qi – низшая теплота сгорания i-го горючего вещества, кДж/кг.

10. Интенсивность пожара, $q_{п.}$, кВт – показывает, какое количество энергии в виде теплоты выделяется при пожаре в единицу времени:

$$q_п = \beta \times v_м \times Q_c^н$$

где β – коэффициент полноты сгорания;

$v_м$ – массовая скорость выгорания, кг/с;

$Q_c^н$ – низшая теплота сгорания материала, кДж/кг.

11. Удельная величина интенсивности пожара - это интенсивность выделения теплоты с единицы площади пожара, кВт/м^2:

$$q_п' = \frac{q_п}{F_п}$$

12. Интенсивность или плотность задымления, x, г/м^3 – характеризует массовое содержание частиц дыма, находящихся в единице объема газовой среды и связанное с этим ухудшение видимости и степени токсичности атмосферы в зоне пожара.

Классификация плотности дыма

Плотность дыма	Концентрация частиц дыма, г/м^3	Толщина слоя дыма, экранирующая свет эталонной лампы силой 21 Кд, м
Высокая	более 1.5	менее 3
Средняя	0.6 – 1.5	3 - 6
Низкая	0.1 – 0.6	6 - 12

Все параметры пожара изменяются во времени и взаимосвязаны.

Основной фактор, оказывающий влияние на все параметры пожара, - ***количество горючих материалов на объекте.***

Параметр, определяющий ***развитие пожара***, - ***интенсивность пожара.***

Опасные факторы пожара

- температура среды – 70^0С;
- уровень теплового излучения – 500 Вт/м^2;
- содержание СО – 0.1 об.%;
- содержание CO_2 – 6.0 об.%;
- концентрация O_2 – менее 17 об.%;
- показатель ослабления света дымом – 2.4.

2. Классификация пожаров

По характеру тепло- и газообмена пожары делят на два вида: открытые и внутренние.

Открытые пожары – те, в которых присутствует тепло- и газообмен ***только зоны горения с окружающей средой***.

Внутренние пожары – те, что протекают в ***помещениях и внутри технологических агрегатов***.

Для них характерны процессы тепло- и газообмена ***зоны горения с ограждающими конструкциями и помещения с внешней средой.***

По агрегатному состоянию горючих веществ различают пожары, связанные с горением ***газов, жидкостей, твердых веществ.***

По начальной стадии пожара и его причине различают ***самовоспламенение (самовозгорание)*** горючих веществ и ***вынужденное (принудительное) зажигание.***

По степени сложности и опасности пожара пожару присваивается номер или ранг (от 1 до 5) – условное цифровое выражение, определяющее количество сил и средств, привлекаемых к его тушению.

По виду горючего материала и рекомендуемым средствам его тушения в России и Великобритании все пожары разделены на ***классы и подклассы***.

Класс А – пожары твердых материалов.

В ***подкласс*** $\boldsymbol{A_1}$ входят пожары тлеющих материалов (древесины, текстиля, бумаги),

в ***подкласс*** $\boldsymbol{A_2}$ – нетлеющих материалов (резина, полимеры)

Класс В – пожары огнеопасных жидкостей.

В ***подкласс*** $\boldsymbol{B_1}$ выделены пожары, связанные с горением полярных жидкостей (спиртов, эфиров и др.),

в ***подкласс*** $\boldsymbol{B_2}$ – с горением неполярных жидкостей (бензина, мазута, масел и др.).

Класс С – пожары, связанные с горением газов (метана, водорода и др.).

Класс Д – пожары, связанные с горением металлов.

Подкласс $Д_1$ соответствует пожарам, связанным с горением Al, Mg,

подкласс $Д_2$ – с горением щелочных металлов,

подкласс $Д_3$ – с горением металлосодержащих веществ (металлоорганики, гидридов и др.)

Класс Е – пожары на электроустановках и электрооборудовании.

3.Открытые пожары: газовых фонтанов, резервуаров, твёрдых горючих веществ

Особенности:

- Газообмен не ограничен конструктивными элементами
- Основной механизм теплопереноса – излучение
- Теплообмен с неограниченным окружающим пространством
- Сильная зависимость скорости распространения пламени от метеорологических условий

Открытые пожары газовых фонтанов

Газовые фонтаны

Фонтаны природных углеводородов условно делят на газовые, газонефтяные и нефтяные. К ***газовым*** относят фонтаны, массовое содержание горючих газов в которых составляет не менее 95% об., ***газонефтяным*** – от 50 до 95% об., ***нефтяным*** – менее 50%об.

Для пожаров газовых фонтанов характерно турбулентное диффузионное пламя, т.к. истечение газа из устья скважины происходит при Re > 2300

Критерий Рейнольдса
(характеризует переход ламинарного течения в турбулентное):

$$Re = \frac{v \cdot r \cdot \rho}{\eta}$$

***v* – скорость течения;**
***r* – радиус трубы;**
***ρ* – плотность;**
***η* – вязкость.**

Для ***турбулентного диффузионного пламени*** характерны:

•неполнота сгорания,

•размытый фронт, образующийся по объему, где смесь имеет стехиометрический состав.

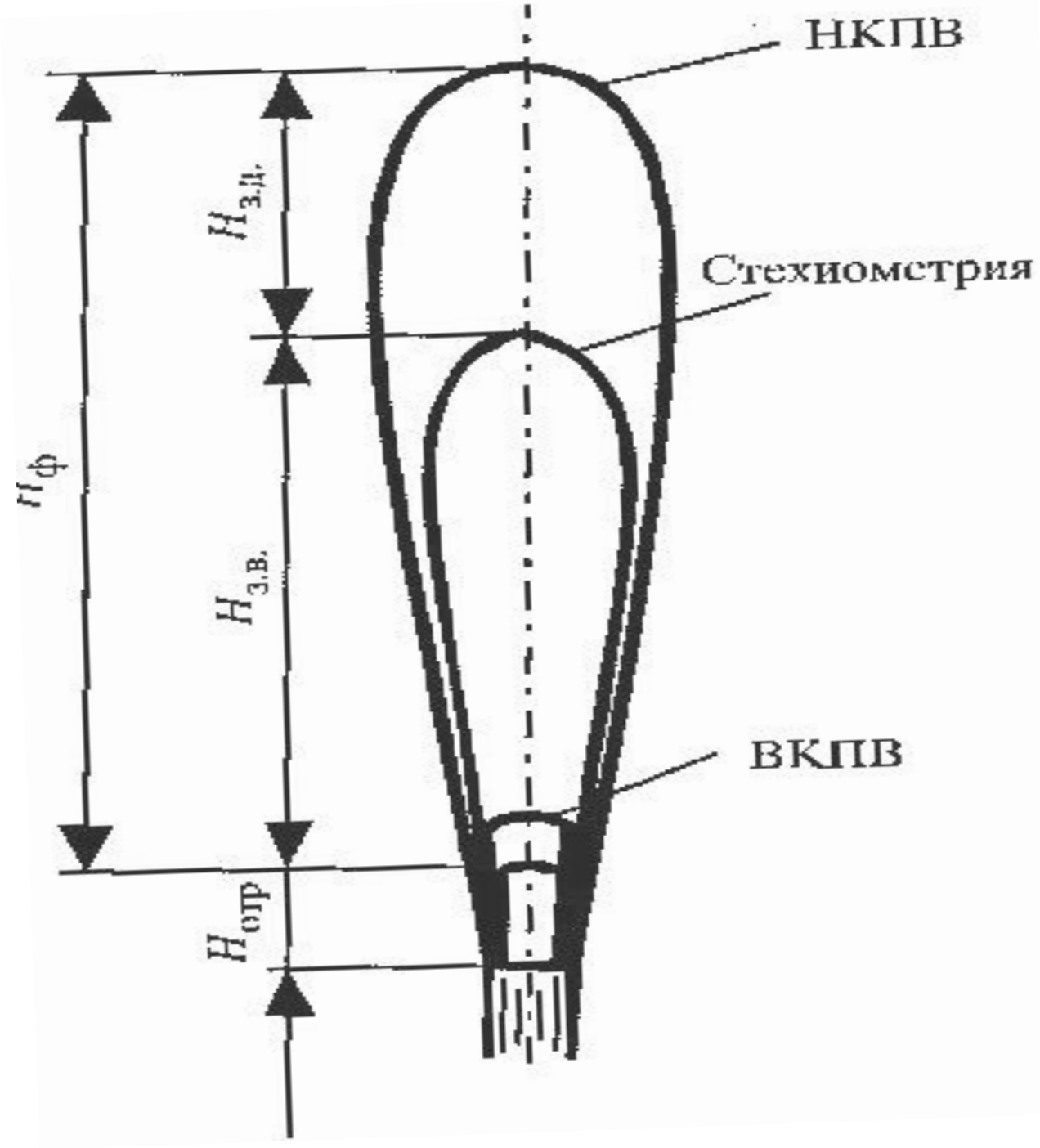
Факел газового фонтана имеет 3 области концентраций, соответствующих

• НКПВ,

•смеси стехиометрического состава,

• ВКПВ.

Для углеводородных газов температура пламени 1350-1800^{0}С.



Для расчета Нф (м) используют эмпирическую формулу:

$$Нф = 20 \times \sqrt{V_г}$$

где Vг - дебит газа, млн. м^3/сут.

Максимальный диаметр верхней части факела, Dф (м) рассчитывают с учетом высоты факела:

$$D_ф = (0.10 \div 0.15) H_ф$$

Факел фонтана служит источником ***теплового излучения, его интенсивность*** определяют по формуле:

$$q_n = \beta \times V_г \times Q_c^{н}$$

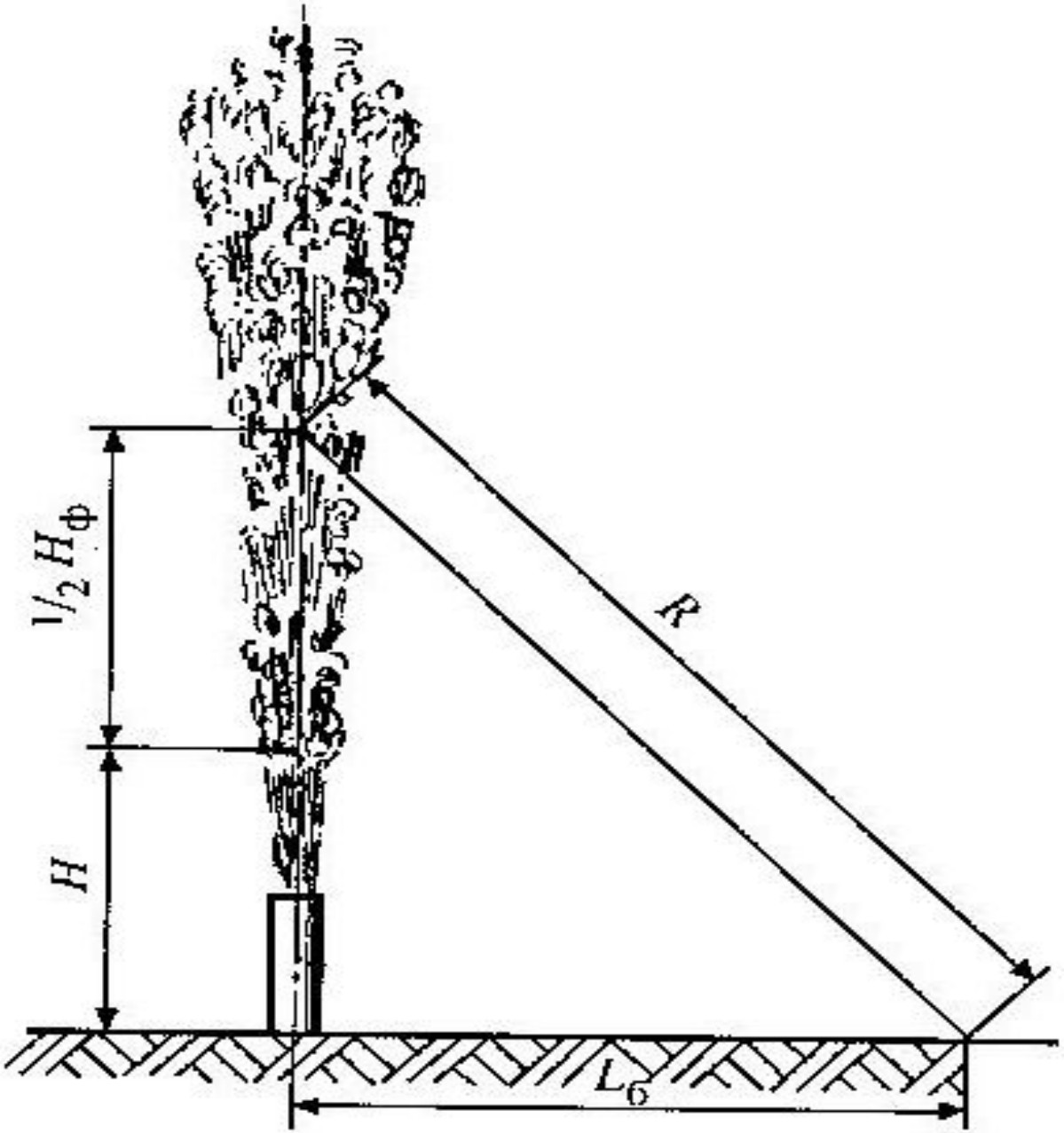
где Vг - дебит газа, $м^3/с$.

Облученность объектов от факела газового фонтана в определяется по формуле:

$$E = \frac{\eta_л \cdot q_п}{4\pi \cdot R^2} \quad \text{Вт/м}^2$$

где $\eta_л$ – доля теплоты газового фонтана, рассеиваемая в окружающую среду ***излучением***;
R – расстояние от центра факела до точки измерения на земле

Величина R:



$$R = \left(\frac{\eta_л \cdot q_п}{4\pi \cdot E_н}\right)^{1/2}$$

$E_н = 1.6 \cdot 10^3$ Вт/м^2 (уровень облученности для расчета ***безопасного расстояния)***

Открытые пожары резервуаров

Параметры пожара резервуаров в значительной степени ***определяются диффузионными процессами (интенсивностью поступления в зону горения O_2)***.

При распространении пламени по поверхности жидкости проявляется эффект Марангони – перемещение поверхностных слоёв в сторону области с низким поверхностным натяжением – т.е. в сторону пламени.

В технических резервуарах горение жидкостей ***турбулентное.***

Высота пламени прямо пропорциональна его ***диаметру***:

для резервуаров с D = 2÷23 м пламя имеет высоту

1.5 D (для бензола);

1.0 D (для дизтоплива);

0.8 D (для этанола).

Относительная высота пламени (H/D) с увеличением D снижается.

Массовая скорость выгорания жидкости

$$v_м = \frac{\rho . v_л . 10^{-3}}{60}$$ кг/м^2•с

где ρ – плотность жидкости, кг/м^3;

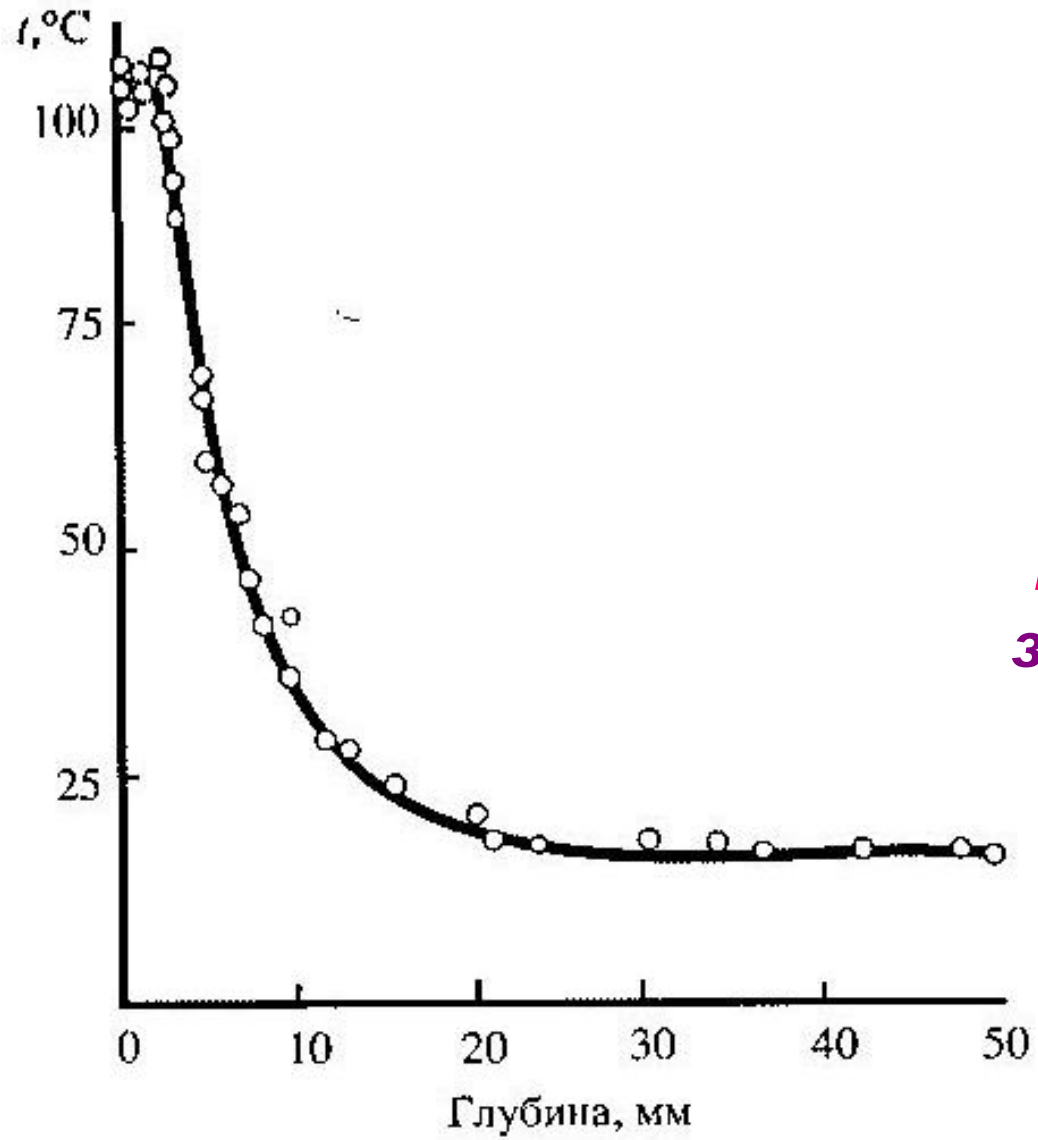
$V_л$ - линейная скорость выгорания, мм/мин.

Скорость выгорания ***не является физико-химической константой***, она зависит не только от свойств жидкости, но и от условий ***тепло- массообмена***, ***площади зеркала в резервуаре***.

Зависимость линейной скорости выгорания различных жидкостей от диаметра резервуара

При увеличении диаметра сосуда до 0.1 м скорость горения большинства жидкостей снижается в 5-10 раз.
Увеличение диаметра (до 1 метра) приводит к росту скорости, а начиная с 1 метра – к ее стабилизации на уровне1.5-5.0 мм/мин.

Температура горения и гомотермальная зона



Во время горения жидкости устанавливается постоянная температура поверхностного слоя, зависящая от природы жидкости.

Распределение температуры по глубине n-бутанола во время его стабильного горения (диаметр резервуара 36 мм).

При горении смеси сложного состава (бензин, керосин и т.п.), ***распределения температуры по глубине жидкости не происходит***, а в приповерхностном слое образуется ***гомотермальная зона – слой жидкости,***
Т которого постоянна и равна Т поверхности.

В процессе горения гомотермальная зона ***увеличивается со скоростью, превышающей скорость выгорания жидкости.***

Если такая зона с температурой выше 100^0С достигнет придонной области резервуара, где ***присутствует вода***, может произойти её вскипание и взрывной выброс горящей жидкости.

Случайное диспергирование горючей жидкости в воздухе (образование аэрозолей) может стать причиной пожара или взрыва.

Открытые пожары твердых горючих веществ

К открытым пожарам, связанным с горением ***твердых горючих материалов***, относятся:

- пожары на складах лесоматериалов,
- лесные пожары,
- пожары торфополей,
- пожары хлебных массивов,
- степные пожары,
- огненные штормы.

Пожары на складах лесоматериалов

Особенности:

1) высокая скорость распространения пламени (4-10 м/мин.);
2) формирование мощных конвективных потоков, слабо зависящих от метеоусловий.

На скорость распространения влияют:

1) вид и геометрическая форма горючего вещества;
2) влажность материала.

Лесные пожары

Особенности:

1) неравномерность скорости движения отдельных участков фронта пламени из-за ***разнообразия горючих материалов;***
2) влияние на скорость распространения пламени ***влажности горючих материалов и воздуха, а также метеорологических условий.***

Лесные горючие материалы делят на 3 класса:

1) ***проводники*** горения (сухая трава, мхи, торф);
2) ***поддерживающие*** горение (валежник, кустарник)
3) ***задерживающие*** горение (брусника, черника, багульник)

Лесные пожары делят на:

а) низовые и верховые;

б) беглые и устойчивые.

Скорость распространения пламени:

а) низового устойчивого пожара – менее 300 м/ч;

б) низового беглого – 300 – 600 м/ч;

в) верхового устойчивого – 600 – 5000 м/ч.

г) верхового беглого – 5000 – 40000 м/ч.

Торфяные пожары

становятся возможными при уменьшении влажности торфа от 1200% до 500%;
могут возникнуть практически без доступа O_2.

Особенности:

а) механизм горения торфа – гетерогенный беспламенный;
б) процесс горения приводит к образованию пещер глубиной до 1,5 м;
в) скорость распространения подземных торфяных пожаров – менее 10 м/сутки.

Степные пожары

имеют особенности:

а) степная растительность является легковоспламеняющимся горючим материалом;

б) высокая скорость распространения пламени (до 700 м/мин) и существенное влияние на неё метеорологических условий.

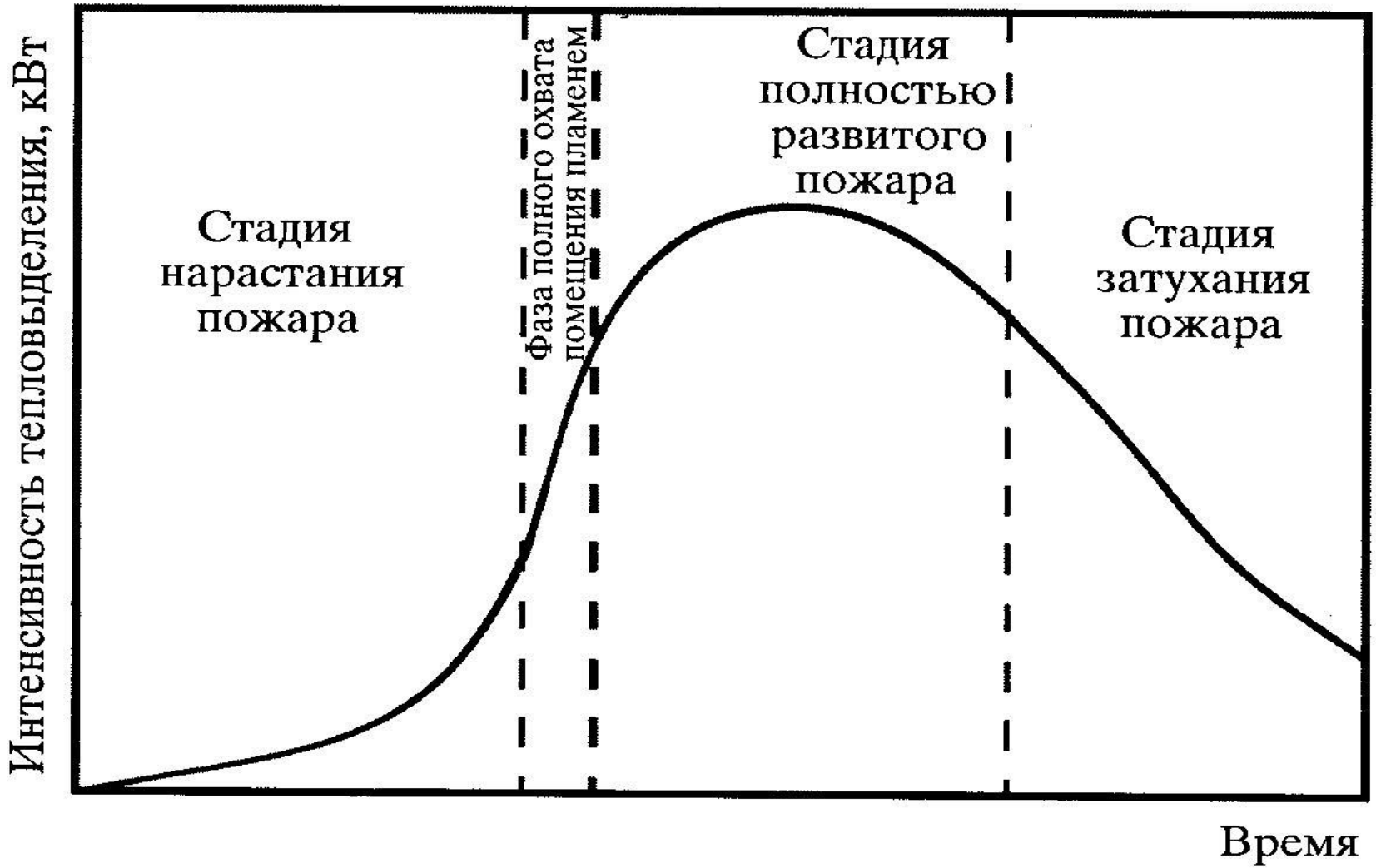
в) незначительная ширина фронта пламени.

Огненный шторм

- возникает в результате слияния многочисленных небольших пожаров в насыщенной горючими материалами среде;
- создает сильную ветровую нагрузку – 20-50 м/с;
- образует конвективную колонну высотой до 10 км с большой подъёмной силой.

4. Основные процессы и параметры внутренних пожаров

Стадии и фазы развития внутреннего пожара



Процесс протекания пожара
делят на 3 стадии:

стадия нарастания пожара
(включает 2 фазы – ***возгорания***
и ***непосредственного начала*** пожара);

•**стадия полностью развитого пожара**
(включает 3 фазы-
полного охвата помещения пламенем,
максимальной интенсивности пожара
и ***стационарного горения***);

•**стадия затухания**
(состоит из 2 фаз – ***снижения интенсивности***
горения и ***догорания***).

Факторы, влияющие на время наступления объемной вспышки:

- **расположение и размеры источника зажигания;**
- **высота очага пожара;**
- **плотность размещения пожарной нагрузки;**
- **физические свойства материалов облицовки стен и потолка (температуропроводность, теплоёмкость, плотность)**

$$\lambda, c_p, \rho$$

Время наступления полного охвата помещения пламенем в зависимости от плотности облицовочного материала стен (сравнительные данные)

Материал стен	Плотность массы, кг/м^3	Время до наступления объемной вспышки, мин
Кирпич	1600	23.5
Легкий бетон марки А	1360	23.0
Легкий бетон марки Б	800	17.0
Асбестовое покрытие	320	8.0
Древесно-волокнистая плита	~300	6.7

Режим полностью развитого пожара определяют параметры:

а) скорость выгорания пожарной нагрузки;

б) площадь поверхности горючих материалов;

в) температурный режим и интенсивность тепловыделения;

г) параметры газообмена.

Скорость выгорания пожарной нагрузки

определяется размерами и формами ***вентиляционных проемов***:

$$v_м = K \cdot F_{пр} \cdot \sqrt{H}$$

где $F_{пр}$ и H – площадь и высота вентиляционного проема,

K – константа, характеризующая ***массовую скорость выгорания данного горючего материала при проемности помещения, равной единице, кг/(м$^{5/2}$•с), (для древесины К=0.09 кг/(м$^{5/2}$•с))***

Различают 2 основных режима пожара:

•регулируемого вентиляцией;

•регулируемого пожарной нагрузкой.

Первый режим считается более опасным

Если выполняется условие:

$$0.235 \geq \frac{\rho_в \cdot F_{пр} \cdot \sqrt{g \cdot H}}{F_{пов.гм}}$$

где $\rho_в$ – плотность воздуха, кг/м^3;

g –ускорение свободного падения, м/с^2;

F – площадь поверхности горючих материалов

Пожар регулируется вентиляцией

Если выполняется условие:

$$\frac{\rho_{в} \cdot F_{пр} \cdot \sqrt{g \cdot H}}{F_{пов.гм}} \geq 0.290$$

Пожар регулируется пожарной нагрузкой

Если отношение ***площади поверхности стен и потолка (без учета площади вентиляционных проемов)***
к параметру вентиляции

$$F_{пр} \cdot \sqrt{H}$$

меньше 8 – 10, то пожар регулируется ***пожарной нагрузкой.***

Температурный режим и интенсивность тепловыделения

Температурный режим внутреннего пожара – это ***изменение среднеобъемной температуры*** во времени.

Среднеобъемную температуру пожара рассчитывают по ***уравнению теплового баланса*** внутреннего пожара

Уравнение теплового баланса внутреннего пожара:

$$q_п = q_{дг} + q_{изл} + q_{ст} + q_{гм} - q_в,$$

где $q_п$ - интенсивность выделения тепла (теплота пожара);

$q_{дг}$- интенсивность удаления тепла из помещения вместе с продуктами горения (дымовыми газами);

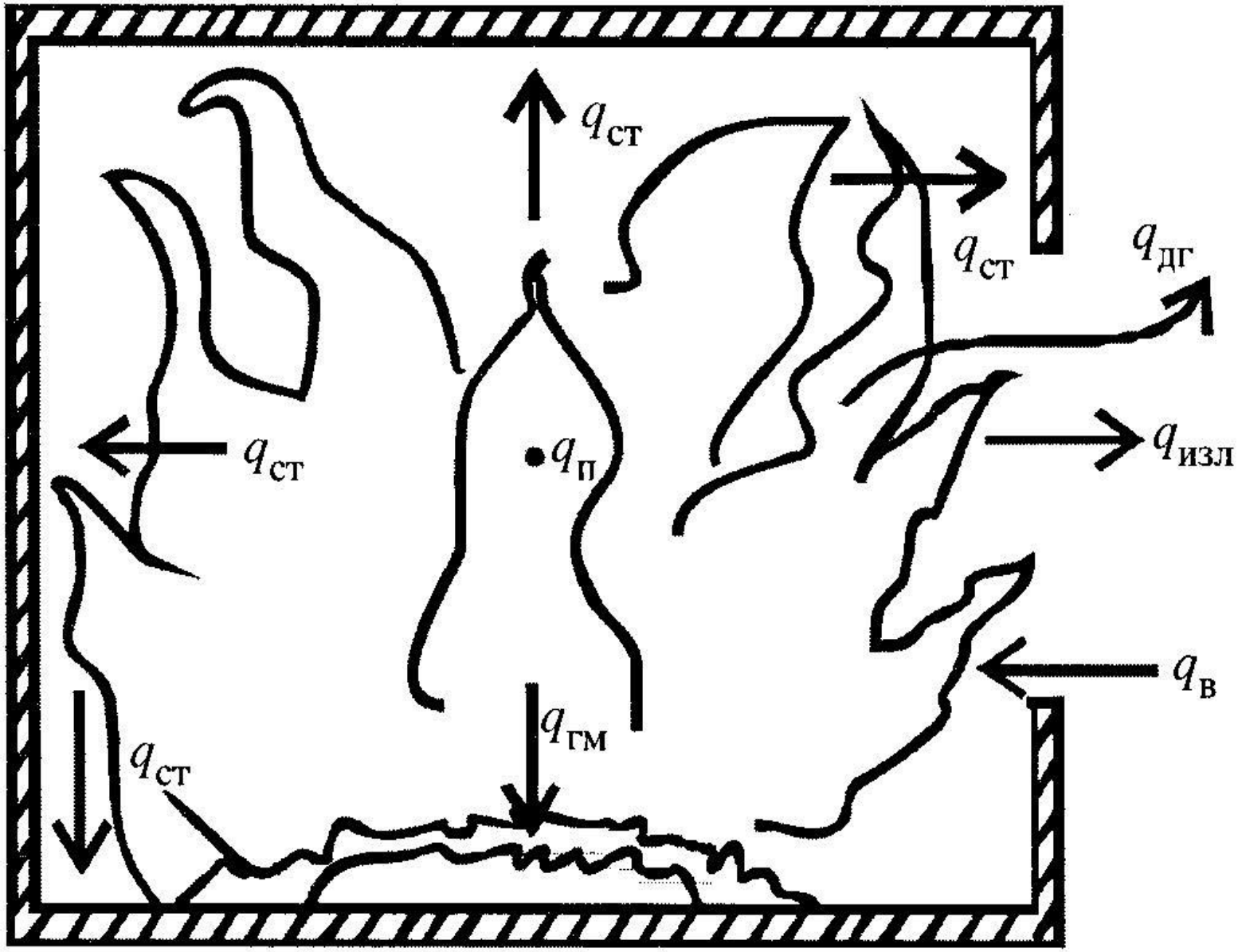
$q_{изл}$- интенсивность удаления тепла за пределы помещения через проемы излучением;

$q_{ст}$- интенсивность поглощения тепла стенами, потолком, строительными конструкциями;

$q_{гм}$- интенсивность поглощения тепла горючими материалами;

$q_в$ - интенсивность поступления в помещение тепла со свежим воздухом.

Схема тепловых потоков для полностью развитого пожара



Интенсивность тепловыделения на пожаре

определяют по формуле:

$$q_n = \beta \cdot \overline{v}_м \cdot Q_c^н$$

где β – коэффициент полноты сгорания (0.9-0.95);

$\overline{v}_м$ – средняя массовая скорость выгорания пожарной нагрузки за рассматриваемый интервал времени Δт, кг/с;

$Q^н_с$ - низшая теплота сгорания пожарной нагрузки, кДж/кг.

С учетом параметра вентиляции:

$$F_{пр} \cdot \sqrt{H}$$

Интенсивность тепловыделения на пожаре определяется по формуле:

$$q_n = \beta \cdot K \cdot F_{пр} \cdot \sqrt{H} \cdot Q_c^{н}$$

Прогнозирование скорости развития внутреннего пожара

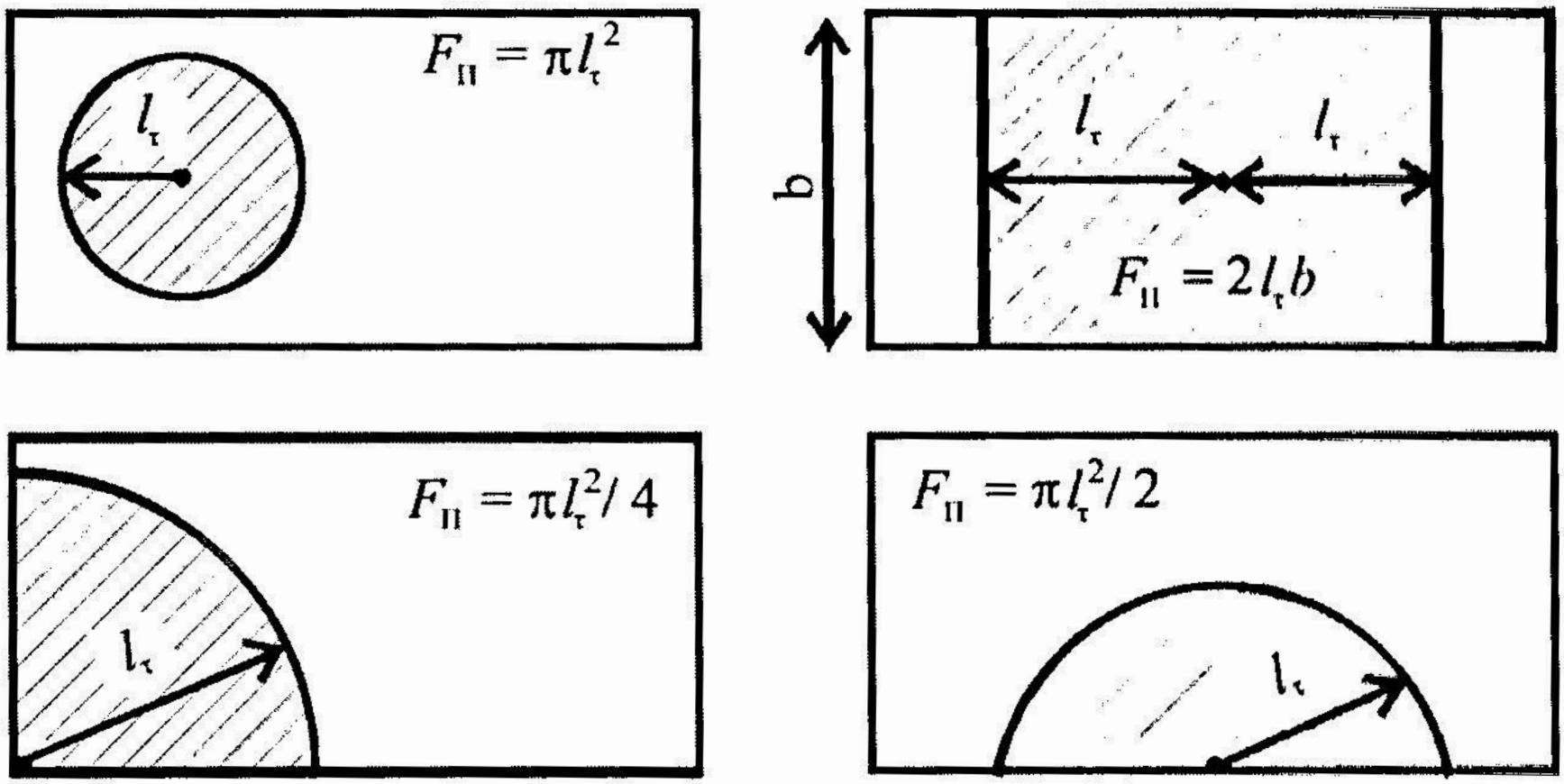
В основе расчета лежит определение ***линейной скорости распространения горения*** при ряде допущений:

- пожарная нагрузка однородна и равномерно распределена в горизонтальной плоскости;
- распространение пламени по различным направлениям равновероятно;
- отсутствуют факторы, дополнительно влияющие на скорость и направление развития пожара.

Площадь пожара ($F_п$)

в зависимости от места расположения очага возгорания

рассчитывается по одной из конфигураций:



(F - площадь пожара, м^2; lт - расстояние, пройденное фронтом пламени ко времени т)

Усредненная линейная скорость распространения пламени для помещений различного назначения и вида пожарной нагрузки

Характер помещения и вид пожарной нагрузки	Усредненная линейная скорость распространения пламени, м/мин.
Жилые помещения	0.5-0.8
Помещения лесопильных цехов	1.0-5.0
Помещения складов	
льноволокна	3.0-5.6
текстильных изделий	0.3-0.4
бумаги в рулонах	0.2-0.3
синтетического каучука	0.6-1.0

Характер помещения и вид пожарной нагрузки	Усредненная линейная скорость распространения пламени, м/мин.
Помещения в административных зданиях	1.0-1.5
Помещения больниц	0.6-3.0
Помещения театров	1.0-3.0
Холодильные камеры	0.5-0.7
Помещения цехов текстильного производства	0.3-0.6
Помещения с горючими напольными покрытиями	1.7-3.2