



**ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ
РАЗВИТИЯ ВНУТРЕННИХ
ПОЖАРОВ**

Часть 1

1. Понятие динамики пожаров

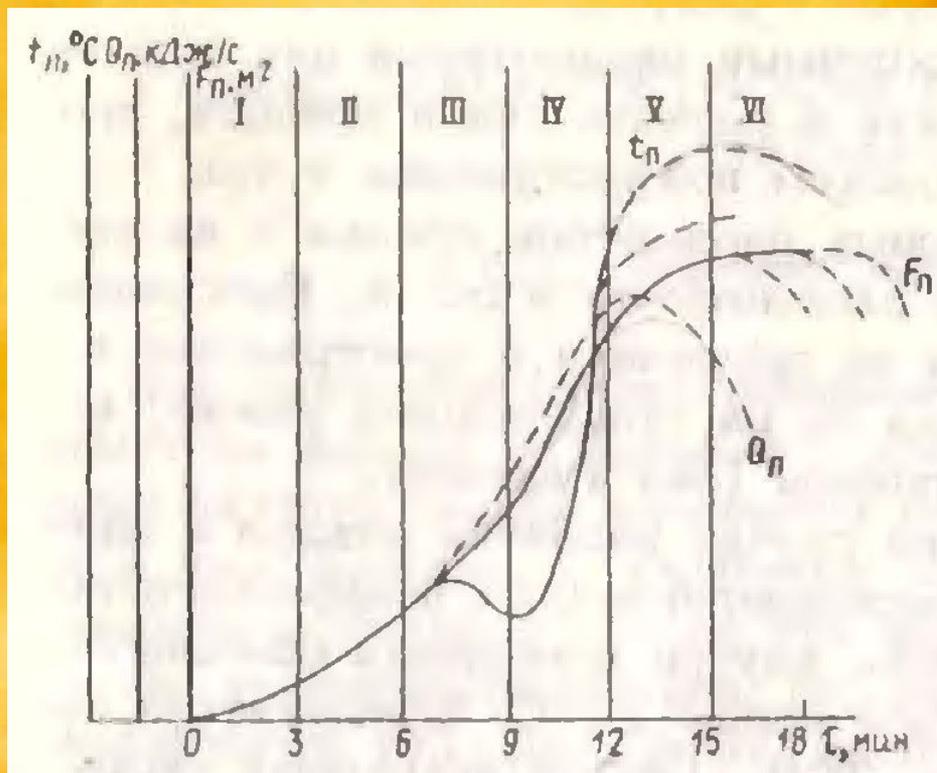
- Под динамикой пожара понимается изменение основных параметров пожара во времени и пространстве. Поэтому необходимо изучить законы изменения параметров пожара во времени и пространстве. О характере пожара можно судить по совокупности большого числа его параметров: по площади пожара, по температуре пожара, скорости его распространения, интенсивности тепловыделения, интенсивности газообмена, скорости выгорания пожарной нагрузки, интенсивности задымления и плотности дыма и т.д. Обычно при исследовании сложных процессов и явлений выделяют первичные, определяющие параметры, и вторичные, т.е. производные от них. При исследовании пожаров это сделать почти невозможно.

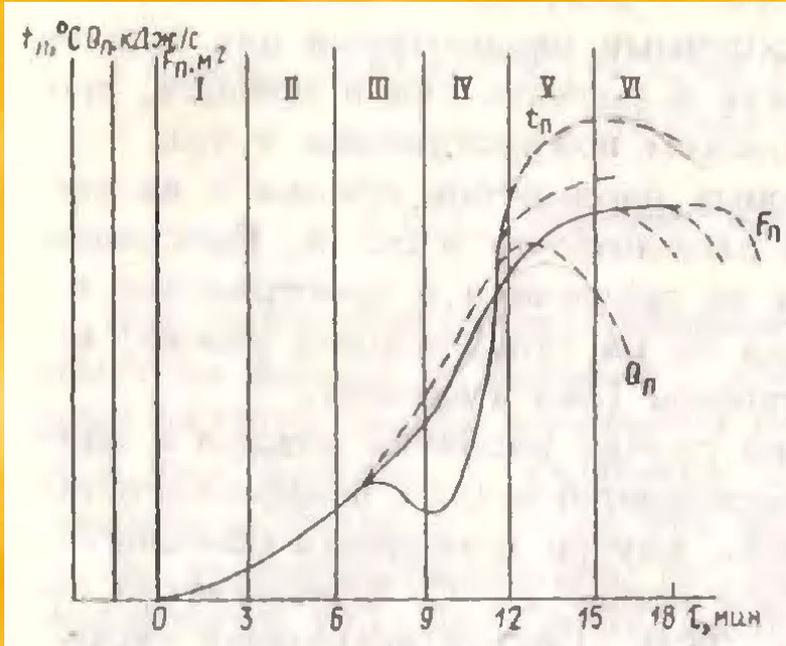
- Во-первых, потому что практически невозможно определить, что в этой сложной совокупности процессов и явлений следует считать первичным, а что вторичным, производным (тепловыделение определяет газообмен, или, наоборот, тепловыделение есть функция газообмена в зоне горения и т. д.).
- Во-вторых, потому что многие параметры пожара становятся первичными или производными в зависимости от цели исследования, от позиции исследователя.
- В-третьих, не всегда первичные, наиболее важные по своей физической сущности процессы, являются определяющими с точки зрения исследователя пожара.

- Так, например, с точки зрения физической сущности процесса горения на пожаре интенсивность газообмена является одним из основных параметров. Но с точки зрения динамики пожара его можно почти не рассматривать. Можно рассматривать лишь его следствие - интенсификацию процесса горения, рост скорости распространения пожара и скорости выгорания пожарной нагрузки, а уже как следствие этот - скорость роста температуры пожара и т.д. Поэтому в качестве основных параметров, изменяемых во времени, для изучения динамики пожара примем: площадь пожара, температуру пожара и интенсивность задымления на пожаре.
- Эти параметры пожара наиболее доступны измерению, анализу, расчету. Они служат исходными параметрами для определения вида применяемой техники и расчета сил и средств, прогнозирования автоматических систем пожаротушения и т.п.

- Качественно анализ некоторых параметров пожара и их изменение во времени частично мы уже рассмотрели.
- Проследим изменение параметров пожара во времени и в пространстве с момента загорания до выхода их на стационарный режим, в случае свободного развития пожара (без тушения).
- Рассмотрим наиболее общий случай развития пожара в здании с горением равномерно распределенных по поверхности поле твердых горючих материалов, внутри помещения обычного типа* с начальной температурой среды 20°C.
- *Под помещением обычного типа понимается помещение малых размеров, с высотой потолка $3 < H < 6$ м, площадью $F_{\text{П}} = 20 \div 30$ м², с отношением $F_1 / F_{\text{П}} = 1/10$, с пожарной нагрузкой типа древесины.

- Большинство пожаров, связанных с горением ТГМ (кроме некоторых частных случаев, когда пожар является следствием взрыва или умышленного поджога), начинается, как правило, с возникновения открытого пламенного горения или тления на сравнительно небольшом участке. Пламя, возникшее от постороннего источника зажигания, медленно распространяется по поверхности горючего материала (рис.).





- Изменение параметров пожара во времени.

- Вокруг зоны горения сразу возникнет конвективный газовый поток, обеспечивающий необходимый газообмен. Поверхность горючего материала под зоной горения и перед ней начнет прогреваться на большую глубину. Интенсивность выделения летучих фракций и продуктов пиролиза ТГМ повысится.
- Размер факела пламени увеличится в объеме, продолжая распространяться и по поверхности горючего материала на те зоны, где поверхностный слой материала прогрелся до температуры, равной или выше температуры его воспламенения. Одновременно интенсифицируется конвективный газовый поток вокруг факела пламени больших размеров и вместе с тем растет, интенсифицируется лучистый поток тепла из зоны горения в окружающее пространство, в том числе и к поверхности горючего материала. Эта первая фаза пожара, точнее, перехода загорания в пожар, длится 1÷3 мин (рис.).

- Затем начинается этап развития пожара. Вступает в действие новый фактор - медленное повышение температуры среды в помещении (2 фаза пожара).
- Весь описанный выше процесс повторяется, но уже с большей интенсивностью: быстрее прогревается вглубь «горящий» слой древесины на большей площади, соответственно интенсивнее выделяются летучие фракции горючих материалов.
- Быстрее растет объем зоны горения, еще интенсивнее конвективный тепловой газовый и лучистый потоки, увеличивается площадь пожара, в том числе и за счет увеличения скорости распространения пожара, круче растет температура в помещении. Этот второй этап длится примерно 5-10 мин.

- Затем начинается этап развития пожара. Вступает в действие новый фактор - медленное повышение температуры среды в помещении (I фаза пожара). Весь описанный выше процесс повторяется, но уже с большей интенсивностью: быстрее прогревается вглубь «горящий» слой древесины на большей площади, соответственно интенсивнее выделяются летучие фракции горючих материалов. Быстрее растет объем зоны горения, еще интенсивнее конвективный тепловой газовой и лучистый потоки, увеличивается площадь пожара, в том числе и за счет увеличения скорости распространения пожара, круче растет температура в помещении. Этот второй этап длится примерно 5-10 мин

- Начинается III этап пожара - бурный процесс нарастания всех рассмотренных выше параметров. Температура в помещении поднимается до 250 - 300°C.
- Начинается так называемая стадия объемного развития пожара, когда пламя заполняет практически весь объем помещения, а процесс распространения пламени происходит уже не по поверхности твердых горючих материалов, а дистанционно, через разрывы пожарной нагрузки, под действием конвективных и лучистых потоков тепла воспламеняются отдельно отстоящие от зоны горения предметы и горючие материалы.

- Начинается «объемная фаза» развития пожара и фаза объемного распространения пожара. При температуре газовой среды в помещении 300°C происходит разрушение остекления. Догорание продуктов сгорания может при этом происходить и за пределами помещения (огонь вырывается из проемов наружу). Скачком изменяется интенсивность газообмена: она резко возрастает, интенсифицируется процесс оттока горячих продуктов горения и приток свежего воздуха в зону горения (IV этап пожара). При этом температура в помещении может кратковременно несколько снизиться. Но в соответствии с изменением условий газообмена резко возрастают такие параметры пожара, как полнота сгорания, скорость выгорания и скорость распространения процесса горения. Соответственно резко возрастает удельное и общее тепловыделение на пожаре. Температура, несколько снизившаяся в момент разрушения остекления из-за притока холодного воздуха, резко возрастает, достигая $500 - 600^{\circ}\text{C}$. Процесс развития пожара бурно интенсифицируется, увеличивается численное значение всех параметров пожара, рассмотренных выше. Площадь пожара, среднеобъемная температура в помещении ($800 - 900^{\circ}\text{C}$), интенсивность выгорания пожарной нагрузки и степень задымления достигают максимума.

- Параметры пожара стабилизируются. Эта **V фаза** наступает обычно на 20 - 25 мин и длится в зависимости от величины и характера пожарной нагрузки еще 20 - 30 мин и более.
- Затем (при условии свободного развития пожара) начинает постепенно наступать VI фаза пожара, характерная постепенным снижением его интенсивности, так как основная часть пожарной нагрузки уже выгорела.
- Толщина обугленного слоя на поверхности горючего материала, составляющая 5 - 10 мм, препятствует дальнейшему проникновению тепла вглубь и выходу летучих фракций из горючего материала. Кроме того, наиболее летучие фракции под действием высокой средней температуры в помещении уже выделились. Интенсивность их поступления в зону горения снижается. Верхний слой угля начинает гореть беспламенным горением по механизму гетерогенного окисления, поглощая значительную часть кислорода воздуха, поступающего в зону горения. В помещении накопилось большое количество продуктов горения.

- Среднеобъемная концентрация кислорода в помещении снизилась до 16 - 17%, а концентрация продуктов горения, препятствующих интенсивному горению, возросла до предельного значения. Интенсивность лучистого переноса тепла к горючему материалу уменьшилась и из-за снижения температуры в зоне горения, и из-за повышения оптической плотности среды. Из-за большого задымления она стала менее прозрачной даже для теплового излучения.
- Интенсивность горения медленно снижается, что влечет за собой понижение всех остальных параметров пожара (вплоть до площади горения). Площадь пожара не сокращается, она может расти или стабилизироваться, а площадь горения сокращается. Наступает VII стадия пожара - догорание в виде медленного тления, после чего через некоторое, иногда весьма продолжительное время, пожар догорает и прекращается.

- В настоящее время большинство объектов оборудуются автоматическими системами пожарной сигнализации и тушения пожара. Автоматические системы пожарной сигнализации должны сработать на I стадии развития пожара. Автоматические системы тушения пожара должны включаться на I или II фазе его развития. В этой фазе пожар еще не достиг максимальной интенсивности развития. Тушение пожара передвижными средствами начинается, как правило, через 10-15 мин после извещения о пожаре, т.е. через 15-20 мин после его возникновения (3-5 мин до срабатывания системы сигнализации о пожаре; 5—10 мин - следование на пожар; 3-5 мин разведка и боевое развертывание). То есть тактические боевые действия, как правило, начинаются на III—IV фазе, а иногда и на V фазе его развития, когда параметры пожара достигли наибольшей интенсивности своего развития или максимального значения.

- Рассмотрим количественно некоторые основные параметры пожара, определяющие динамику его развития. Определим **интенсивность тепловыделения на пожаре** как одного из основных параметров процесса горения:

$$Q_{\Pi} = \beta Q_H^P v'_M F_{\Pi}$$

- В это выражение входят две переменные величины v'_M и F_{Π} , зависящие от времени развития пожара, температуры пожара, интенсивности газообмена и других параметров. Приведенную массовую скорость выгорания определим по формуле

$$v'_M = (aT_{\Pi} + bI_{\Gamma}) v'_{M0}$$

- где a, b - эмпирические коэффициенты;
- v'_{M0} – приведенная массовая скорость выгорания пожарной нагрузки для данного вида горючего материала;
- T_{Π} - среднее значение температуры пожара;
- I_{Γ} - интенсивность газообмена.

- Скорость выгорания полимерных горючих материалов можно определить по формуле:

$$\lg v_M = a \lg C_{O_2} \quad ; \quad a=3,175$$

- как функцию концентрации кислорода в воздухе или по формуле

$$v_M = \frac{A}{T_{кр} - T_v} - B$$

- как функцию температуры самого ТГМ;
- где А и В - константы;
- T_v - температура, при которой скорость горения резко возрастает, °С;
- $T_{кр}$ - температура, при которой скорость горения достигает значения v_M^{\max} , °С.

- Зависимость площади пожара от основных параметров его развития примет вид:

$$F_{\Pi} = \kappa (v_p r)^n$$

- где κ и n - коэффициенты, зависящие от геометрической формы площади пожара;
- v_p - соответственно линейная скорость распространения пожара ;
- R - время его свободного развития.

- Определим скорость роста площади пожара во времени $F_{\Pi}=f(\tau)$. Сначала найдем численные значения постоянных величин, входящих в формулу для F_{Π} , а затем определим выражения для переменных, зависящих от времени.
- Например, для пожара круговой формы при равномерном распределении пожарной нагрузки на площади пола помещения и отсутствии интенсивно направленных потоков воздуха, влияющих на величину и направление распространения пожара,

$$\underline{k = \pi, n = 2.}$$

- Для пожара, возникающего при тех же условиях у несгораемой вертикальной стенки или у края расположения пожарной нагрузки (при форме площади пожара, соответствующей полукругу),

$$\underline{k = \pi/2, n = 2.}$$

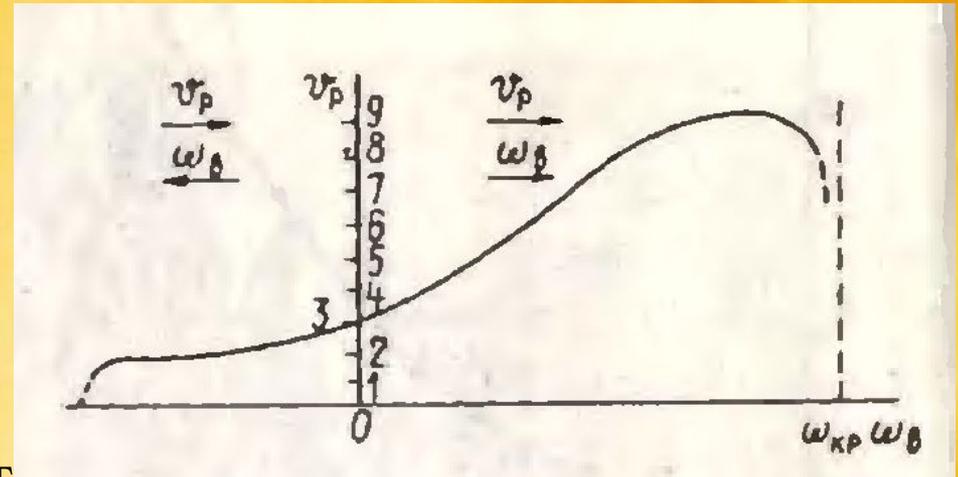
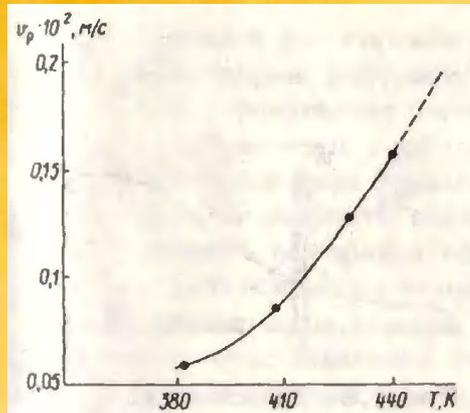
- Для прямоугольной площади пожара, распространяющегося в обе стороны, при тех же начальных условиях $k = 2a, n = 1$, где a - ширина фронта распространения пожара.

- Линейная скорость распространения пожара, входящая в формулу F_{Π} - величина переменная во времени и зависит от вида горючего, средней температуры пожара и интенсивности газообмена:

$$v_P = (a_1 T_{\Pi} + b_1 I) v_{P0}$$

- где a_1 и b_1 - эмпирические коэффициенты, устанавливающие зависимость линейной скорости распространения пожара от средней температуры и интенсивности газообмена, численное значение которых определяется опытным путем для каждого конкретного вида горючего;
- v - линейная скорость распространения горения для данного вида горючего.

- Качественно характер зависимостей $v_p = f(I_{\Gamma})$, выраженный через скорость воздушного потока над поверхностью горения, и $v_p = f(t_{\Gamma M})$, полученные экспериментально для некоторых видов ГГМ, показаны на рис.



- В уравнения входят такие параметры, как средняя температура пожара $T_{п}$ и интенсивность газообмена I_{Γ} . По мере развития пожара эти параметры будут расти, увеличивая линейную скорость распространения горения и приведенную массовую скорость выгорания.

2. Тепловой режим пожара

- Выделяющееся при горении тепло является основной причиной развития пожара и возникновения многих сопровождающих его явлений. Это тепло вызывает нагрев окружающих зону горения горючих и негорючих материалов. При этом горючие материалы подготавливаются к горению и затем воспламеняются, а негорючие разлагаются, плавятся, строительные конструкции деформируются и теряют прочность.
- Тепловыделение на пожаре сопровождается также движением газовых потоков и задымлением определенного объема пространства около зоны горения.

- Возникновение и скорость протекания тепловых процессов зависит от интенсивности тепловыделения в зоне горения, т. е. от теплоты пожара. Количественной характеристикой изменения тепловыделения на пожаре в зависимости от различных условий горения служит температурный режим. Под температурным режимом пожара понимают изменение температуры во времени.
- Определение температуры пожара как экспериментально, так и расчетом чрезвычайно сложно. Для инженерных расчетов, при решении ряда практических задач температуру пожара определяют из уравнения теплового баланса. Баланс тепла на пожаре составляется не только для определения температуры пожара, но и для выявления количественного распределения тепловой энергии.

- В общем случае тепловой баланс пожара для данного момента времени может быть представлен следующим образом:

$$Q_{\Pi} = Q_{\PiГ} + Q_{К} + Q_{Л}$$

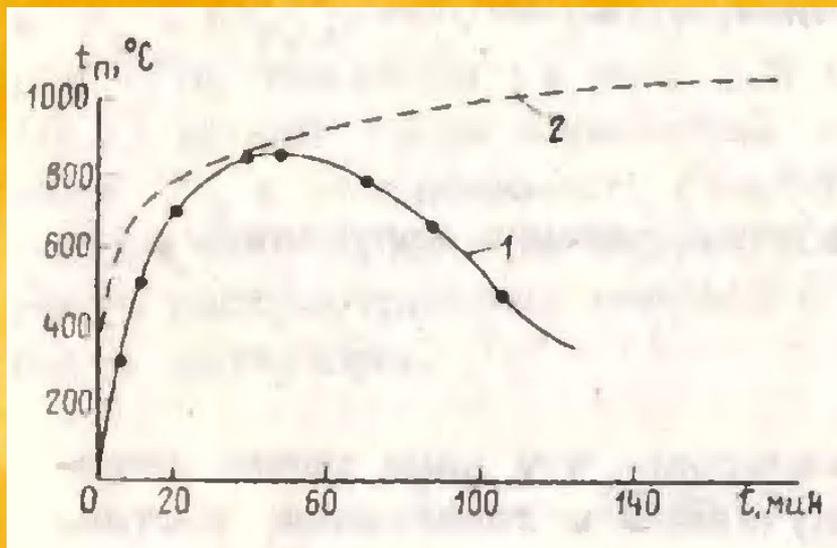
- где (Q_{Π} - тепло, выделяющееся на пожаре, кДж;
- $Q_{\PiГ}$ - тепло, содержащееся в продуктах горения, кДж;
- $Q_{К}$ – тепло передаваемое из зоны горения конвекцией воздуху, омывающему зону, но не участвующему в горении, кДж ,

$$Q_{К} = aF_{\Pi}\Delta T$$

- $Q_{Л}$ – тепло, передаваемое из зоны горения излучением,

$$Q_{Л} = \sigma_0 T_{Г}^4 F$$

- Для открытых пожаров установлено, что доля тепла, передаваемого из зоны горения излучением и конвекцией, составляет 40-50% от $Q_{\text{ц}}$. Оставшаяся доля тепла (60-70% от $Q_{\text{п}}$) идет на нагрев продуктов горения. Таким образом, 60-70% от теоретической температуры горения данного горючего материала дадут приближенное значение температуры пламени. Температура открытых пожаров зависит от теплотворной способности горючих материалов, скорости их выгорания и метеорологических условий. В среднем максимальная температура открытого пожара для горючих газов составляет 1200- 1350 С, для жидкостей 1100-1300 С и для твердых горючих материалов органического происхождения 1100-1250° С. При внутреннем пожаре на температуру влияет больше факторов: вид горючего материала, величина пожарной нагрузки и ее расположение, площадь горения, размеры здания (площадь пола, высота помещений и т.д.) и интенсивность газообмена (размеры и расположение проемов). Рассмотрим подробнее влияние перечисленных факторов.



- Изменение температуры внутреннего пожара во времени: 1 - кривая конкретного пожара; 2 - стандартная кривая

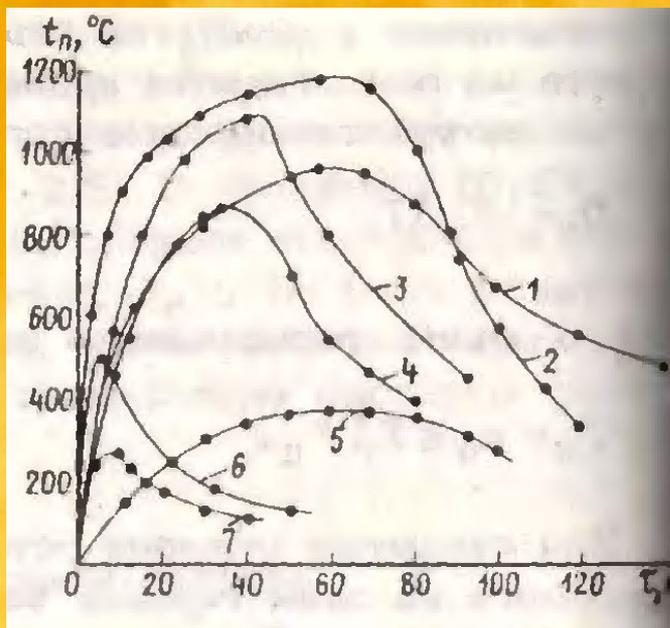
- Всю продолжительность пожара можно разделить на три характерных периода по изменению температуры.
- Начальный период, соответствующий периоду роста пожара, характеризуется сравнительно невысокой среднеобъемной температурой.

- Заключительный период характеризуется убыванием температуры вследствие выгорания пожарной нагрузки. Поскольку скорость роста и абсолютное значение температуры пожара в каждом конкретном случае имеют свои характерные значения и особенности, введено понятие стандартной температурной кривой (рис.), обобщающей наиболее характерные особенности изменения температуры внутренних пожаров. Стандартная температурная кривая описывается уравнением:

$$t_{\Pi}^{CT} = 345 \lg(8r + 1)$$

или

$$t_{\Pi}^{CT} = 500r^{0.15}$$



- Изменение температуры внутреннего пожара в зависимости от вида горючего материала и величины пожарной нагрузки ($F_{\text{пг}}/F_{\text{пола}} = 0,16$):
 - 1 - резина, 100 кг/м²;
 - 2 - древесина, 100 кг/м²;
 - 3 - каучук, 50 кг/м²;
 - 4 - резина, 50 кг/м²;
 - 5 - древесина, 50 кг/м²;
 - 6 - фенопласты, 50 кг/м²;
 - 7 - бумага, 50 кг/м²

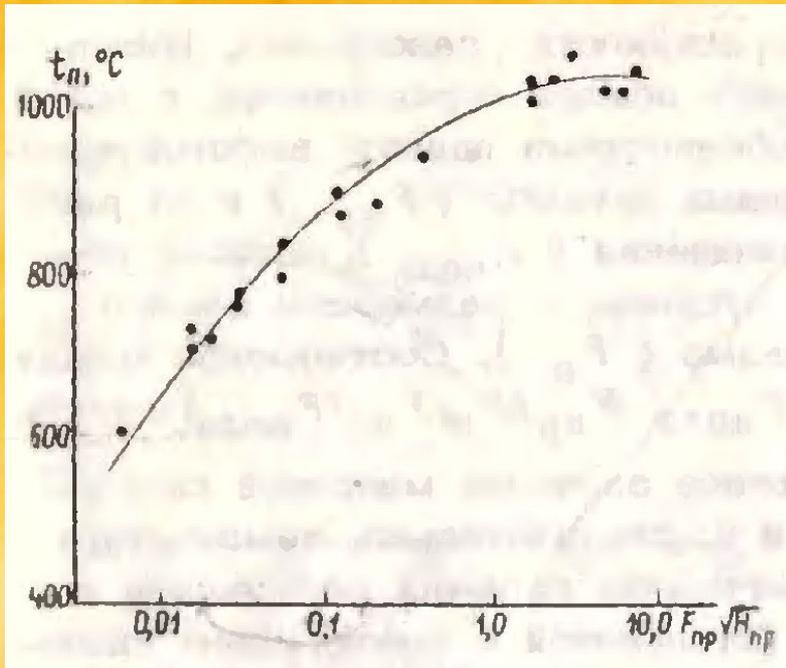
- Из графика видно, что с увеличением пожарной нагрузки время достижения максимальной температуры возрастает.

- Температура пожара является функцией его остальных параметров и, в частности, интенсивности газообмена. Интенсивность газообмена внутреннего пожара определяется, с одной стороны, конструктивными особенностями здания: высотой проема ($H_{пр}$) или площадью оконных проемов ($F_{пр}$) и их расположением площадью пола помещения ($F_{пола}$), высотой помещения ($H_{п}$), с другой стороны - размерами самого пожара, в частности, его площадью ($F_{п}$). Соотношение между ними и площадью пожара ($F_{п} / F_{пола}$; $F_{пр} / F_{п}$; $F_{пр} / F_{пола}$) определяют скорость роста и абсолютное значение массовой скорости выгорания, полноту горения и, следовательно, температуру пожара. Массовая скорость выгорания горючих материалов в условиях внутреннего пожара повышается с увеличением интенсивности газообмена, а затем некоторое время остается постоянной.

- Однако зависимость абсолютного значения температуры от интенсивности газообмена имеет другой вид. Это обусловлено следующими обстоятельствами. Воздух, поступающий при газообмене в помещение, разделяется как бы на две части. Одна часть воздуха активно поддерживает и интенсифицирует процесс горения, другая часть вовлекается в движение внутренними конвективными потоками и в зону горения не поступает. Последняя будет разбавлять продукты горения в объеме помещения и тем самым снижать их температуру. Количество воздуха, не участвующего в процессе горения, учитывается коэффициентом избытка воздуха для объема данного помещения.

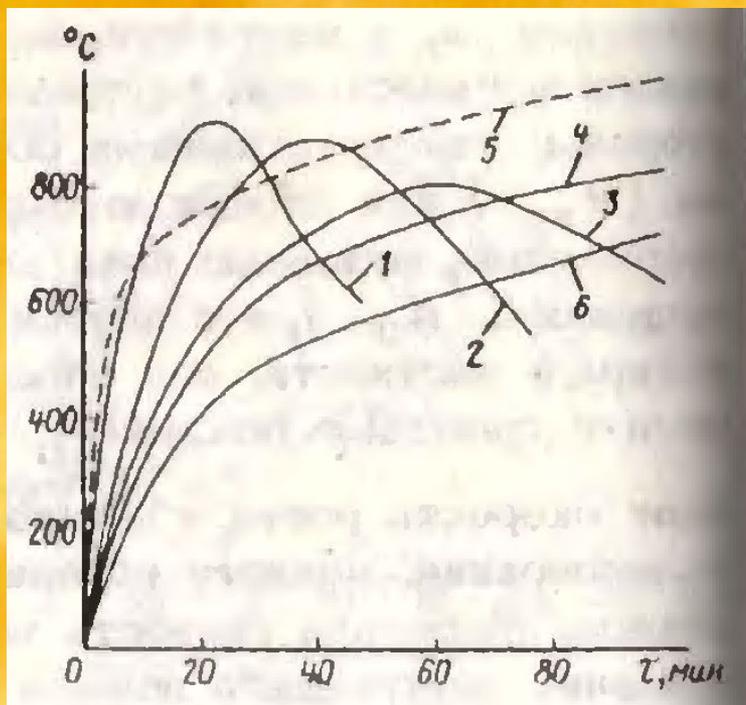
Зависимость температуры пожара от газообмена параметров

проема, определяющих $F_{\text{пр}} \sqrt{H_{\text{пр}}}$



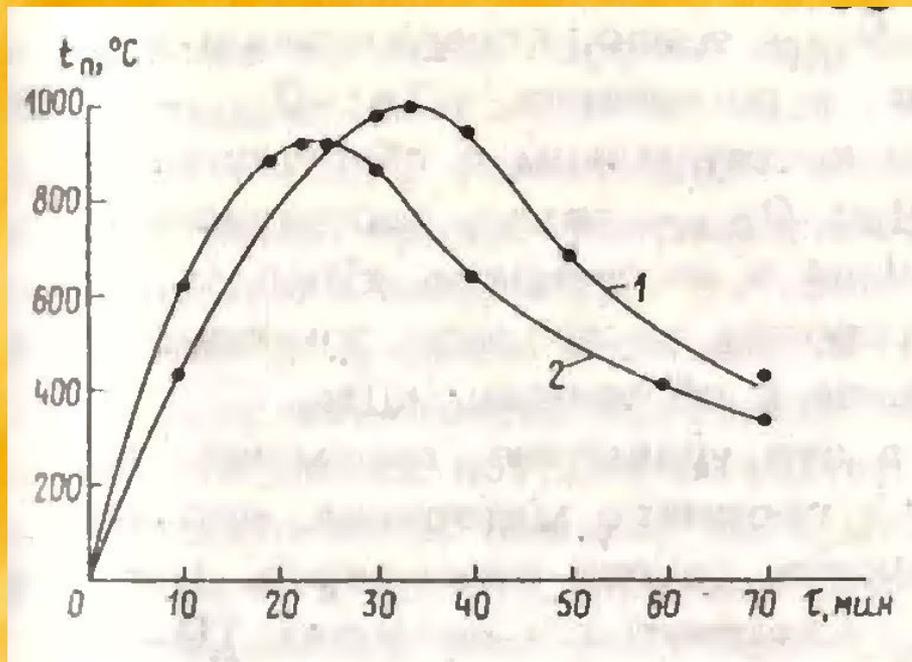
- Влияние газообмена на температуру внутреннего пожара

- Из графика видно, что приток воздуха в помещение, где происходит пожар, увеличивает температуру его при неизменной площади пола и величине пожарной нагрузки. При условиях газообмена, близких к открытым пожарам, когда массовая скорость выгорания не зависит от размеров проемов, температура пожара достигает максимума и почти такая же, как при открытом пожаре.



- Изменение температуры внутреннего пожара в зависимости от F_1/F_{II} и $F_{II}/F_{\text{пола}}$:
- 1 - $F_1/F_{II} = 1/5$;
- 2 - $F_1/F_{II} = 1/7$;
- 3, 4, 5 - $F_1/F_{II} = 1/10$;
- 6 - стандартная кривая

- Влияние отношений F_1/F_{II} и $F_{II}/F_{\text{пола}}$ на температуру пожара показано на рис. Из графика видно, что увеличение отношения F_1/F_{II} ведет к увеличению скорости роста температуры и ее максимума, а уменьшение этого отношения резко увеличивает продолжительность пожара.
- Кроме того, кривые 1, 2, 3, 4, 5 отражают изменение температуры пожара при отношении $F_{II}/F_{\text{пола}}=1$, а кривая 6 - при отношении $F_{II}/F_{\text{пола}} = 0,25$, что свидетельствует о значительном влиянии величины отношения $F_{II}/F_{\text{пола}}$ на температурный режим пожара.
- Кривые 4 и 6 получены при пожарной нагрузке 150 кг/м^2 , а кривая 3 - при значительно большей нагрузке.



- Зависимость температуры внутреннего пожара от высоты помещения : 1 – $H_{п} = 3,2$ м, 2 – $H_{п} = 6,4$ м.

- Существенное влияние на температурный режим пожара оказывает высота помещения.
- На рис. приведен график изменения температуры пожара в помещениях различной высоты, из которого следует, что в высоких помещениях скорость роста температуры выше, а максимальное значение температуры меньше, чем в помещениях малой высоты. Это объясняется тем, что во втором случае коэффициент избытка воздуха выше, чем в первом, и потери тепла из зоны горения больше.

- Из приведенных данных следует, что по интенсивности газообмена, определяющей скорость роста и максимальное значение температуры пожаров, все помещения можно разделить на две группы.
- Помещения, у которых отношение $\frac{F_{\text{п}}}{F_{\text{пола}}} < 1/12$, относятся к помещениям с низкотемпературным режимом пожаров, т.е. для этой группы помещений развитие процесса горения, а следовательно, и интенсивности тепловыделения, сдерживают поступление воздуха и в объем самого помещения, и в зону горения.

- Помещения, у которых отношение $\frac{F_{\text{п}}}{F_{\text{пола}}} > 1/12$ относятся к помещениям с высокотемпературным режимом пожаров, т.е. в этих помещениях процесс горения развивается так же, как в условиях открытого пожара или близких к ним.
- Изменение температуры пожаров во времени, характерное для помещения с низкотемпературным режимом, соответствует кривой 4 (рис.) , а с высокотемпературным режимом — кривой 6, которая является стандартной температурной кривой.
- Из рис. следует, что различие температур пожара в помещениях с низкотемпературным и высокотемпературным режимами в среднем составляет 200-250°C.
- При этом необходимо иметь в виду, что такая же картина может сохраниться, когда горючие материалы с высокой теплотворной способностью горят в помещениях с низкотемпературным режимом, а горючие материалы с низкой теплотворной способностью горят в помещениях с высокотемпературным режимом.

- Внутренний пожар – это более сложный случай процесса горения по сравнению с открытым пожаром, так как объем, где происходит горение, ограничен и не все тепло теряется безвозвратно. Поэтому для удобства анализа тепловой баланс внутреннего пожара записывают в несколько иной форме по сравнению с уравнением

$$Q_{\Pi} = Q_{\Pi Г} + Q_{К} + Q_{Л} \quad .$$

- Без учета начального теплосодержания горючих материалов и воздуха, на данный момент времени он может быть представлен следующим уравнением:

$$Q_{\Pi} = Q'_{\Pi.Г} + Q''_{\Pi.Г} + Q_{кон} + Q_{Г.М} + Q_{изл}$$

- Все величины, входящие в это уравнение, переменны во времени. Они зависят от вида горючего материала, его количества, площади пожара и многих других параметров.

- Например,
$$Q_{П.Г}'' + Q_{кон} + Q_{Г.М} + Q_{изл}$$

- изменяется в пределах 10-80% всего выделяющегося тепла и зависит от условий газообмена и продолжительности горения. Как показывает практика, $Q_{изл}$ составляет 3-4%

- $Q_{п}$;

- $Q_{кон}$ - 6-8% $Q_{п}$; $Q_{ГМ}$ - 1,5-3% $Q_{п}$, т.е. примерно 85-90% всего выделяющегося тепла на внутреннем пожаре идет на нагрев продуктов горения.

- Величины $Q'_{\text{ПГ}}$ и $Q_{\text{изл}}$ не приводят к повышению температуры в зоне пожара, так как в обоих случаях тепло уходит за пределы помещения.
- $Q_{\text{Г.М}}$ - тепло, идущее на нагрев горючего материала как горящего, так и подготавливаемого к горению, оно способствует интенсификации и распространению пожара. Количественно эта величина в общем балансе тепла мала (не превышает 3% от $Q_{\text{П}}$), но качественно этот тепловой поток - один из самых опасных. Так, сведение $Q_{\text{Г.М}}$ к нулю практически приводит к локализации и тушению пожара.
- $Q_{\text{кон}}$ - также очень опасный тепловой поток, так как повышение температуры несущих элементов конструкции приводит к резкому снижению их механической прочности, потере устойчивости и обрушению.
- $Q''_{\text{ПГ}}$ - это тепло, которое, выделившись в зоне горения, распределяется по всему помещению и определяет температуру пожара.

- Тепло на пожаре выделяется непосредственно в зоне горения и распространяется из нее конвекцией, лучеиспусканием и теплопроводностью. Тепло, передаваемое теплопроводностью, сравнительно невелико и, как правило, в расчетах не учитывается.
- Тепло, передаваемое из зоны горения конвекцией при горении жидких горючих в условиях внутреннего пожара, составляет 55-60%, а при горении твердых горючих материалов, например, штабелей древесины, 60-70% от общего количества тепла, выделяющегося на пожаре. Остальные 30-40% тепла передаются из зоны горения излучением. Соотношение этих величин зависит не только от вида горючего, но и от стадии развития пожара, температуры окружающих предметов, оптической плотности среды, условий газообмена. Поскольку конвективные потоки направлены из зоны горения преимущественно вверх, то суммарные тепловые потоки по различным направлениям будут неравноценны. Знание величины и направления суммарных тепловых потоков позволит определить не только соответствующие зоны пожара, но и доминирующее направление и интенсивность распространения пожара.

- Из уравнения теплового баланса

$$Q_{\Pi} = Q'_{\Pi.Г} + Q''_{\Pi.Г} + Q_{\text{кон}} + Q_{Г.М} + Q_{\text{изл}}$$

получим выражение для приближенного расчета температуры пожара, исходя из следующих соображений: температура пожара обусловлена разностью

$$Q_{\Pi} - (Q'_{\Pi.Г} + Q_{\text{кон}} + Q_{Г.М} + Q_{\text{изл}})$$

величину тепловых потерь $Q_{\Pi.Г} + Q_{\text{кон}} + Q_{Г.М} + Q_{\text{изл}}$

для различных видов пожаров на разных стадиях их развития выразим как долю тепловых потерь от Q_{Π} , т.е.

$$Q'_{\Pi.Г} + Q_{\text{кон}} + Q_{Г.М} + Q_{\text{изл}} = m Q_{\Pi}$$

- Тогда уравнение теплового баланса примет вид:

$$Q_{\Pi} = Q''_{\Pi.Г} + mQ_{\Pi}$$

- Тепло, расходуемое на нагрев продуктов горения и воздуха, находящегося в помещении, можно определить из уравнения:

$$Q''_{\Pi.Г} = v'_M F_{\Pi} C_P [V_{\Pi.Г} + V_0(\alpha - 1)](t_{\Pi} - t_H)$$

Окончательно

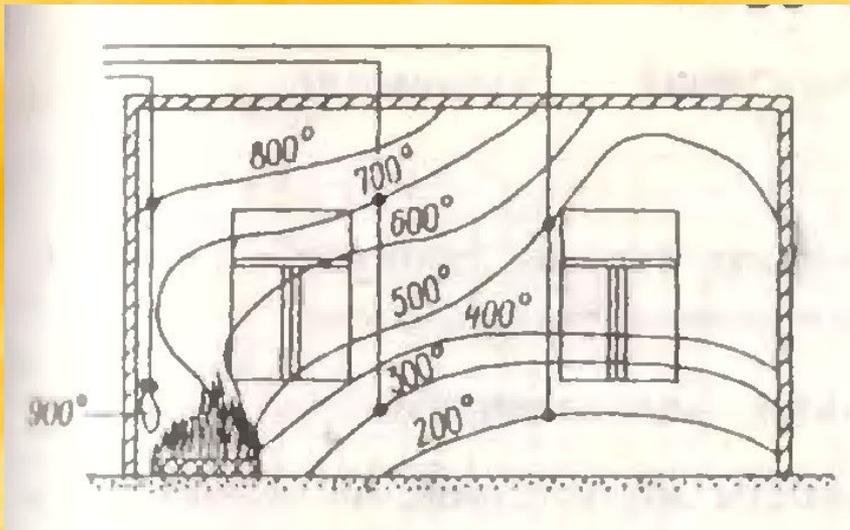
$$\beta v'_M Q_H^P F_{\Pi} = v'_M F_{\Pi} C_P [V_{\Pi.Г} + V_0(\alpha - 1)](t_{\Pi} - t_H) + m\beta v'_M Q_H^P F_{\Pi}$$

Откуда

$$t_{\Pi} = \frac{Q_H^P (1 - m)\beta}{C_P [V_{\Pi.Г} + V_0(\alpha - 1)]} + t_H$$

- В этом выражении неизвестными величинами являются C_p и m .
- Если задаться значением C_p - среднеобъемной удельной теплоемкостью смеси газов, то можно определить температуру методом последовательных приближений. Кроме того, расчетные значения температуры являются средними по площади и по сечению помещения, что соответствует равномерному полю температур по всему объему.
- Однако на пожарах распределение температуры неравномерно по объему и нестационарно во времени.

Максимальная температура пожара, которая обычно выше среднеобъемной, бывает в зоне горения. По мере удаления от нее температура газов снижается за счет разбавления продуктов горения воздухом и потерь тепла в окружающее пространство.



- Температурное поле внутреннего пожара

- На рис. показано температурное поле пожара в помещении объемом 100 м^3 на 15-й минуте горения бензина на площади 2 м^2 . Наивысшая температура в зоне горения 900°C , в самой удаленной точке 200°C .

- Большое влияние на распределение температуры оказывает интенсивность газообмена и направленность конвективных газовых потоков.
- Например, в помещениях с большой интенсивностью газообмена и высокотемпературным режимом, несмотря на интенсивное тепловыделение и высокую температуру в верхней части помещения, в нижней его части возможно пребывание людей благодаря интенсивному притоку холодного воздуха и интенсивному оттоку горячих продуктов горения.
- Причем неравномерность параметров газовой среды по вертикали проявляется тем резче, чем больше высота помещения. Очевидно, что и средняя температура такого пожара может быть сравнительно невелика.

- В помещениях с малой интенсивностью газообмена и низкотемпературным режимом горение происходит с большим недостатком воздуха.
- Однако температура в помещении при таком горении почти одинакова по объему и может быть очень высокой за счет слабого оттока продуктов горения.
- Эти обстоятельства необходимо учитывать при тушении пожара для обеспечения безопасной и эффективной работы личного состава.

- Очевидно, что при наличии расчетных методов, учитывающих неравномерность распределения температуры в объеме помещения, эта задача существенно облегчалась бы.
- Существует методика, позволяющая рассчитать изменение среднеобъемной и локальной температуры пожара во времени в условиях внутреннего пожара.
- Хотя она не в полной мере отражает те явления, которые происходят на реальных пожарах, но тем не менее представляет определенный прогресс в исследовании теплового режима внутренних пожаров.

- Основное упрощение, позволившее составить критериальное уравнение теплового баланса внутреннего пожара и решить его, заключается в том, что нестационарный процесс тепловыделения и теплообмена, происходящий на реальном пожаре, представлен как квазистационарный (предполагается, что в небольшие промежутки времени площадь пожара, массовая скорость выгорания и условия газообмена остаются постоянными). Тогда уравнение теплового баланса внутреннего пожара

$$Q_{\Pi} = Q_{\Pi\Gamma} + Q_K + Q_L$$

- в развернутом виде запишется так:

$$\beta v'_M Q_H^P F_{\Pi} = \beta v'_M V_{\Pi.\Gamma} F_{\Pi} C_P (t_{\Pi} - t_H) + \alpha F_{\Pi} (t_{\Pi} - t_H) + \sigma_0 \varepsilon_{\Pi\Gamma} F_{\Pi} (t_{\Pi}^4 - t_H^4)$$

- Анализируя это уравнение с учетом принятых допущений после обработки методом размерностей его можно представить в критериальной форме:

$$\frac{T_{r;x;y}}{T_{теор}} = t \left(B_0; N_u; \frac{r}{r_0}; \frac{x}{x_0}; \frac{y}{y_0} \right)$$

- где $T_{теор}$ - безразмерная температура среды в любой момент времени в точке с координатами x и y ;

$$B_0 = \frac{\beta v'_M F_{П} V_{П.Г} C_P}{\sigma_0 \varepsilon_{ПР} F_{ОГР} T_{теор}^3}$$

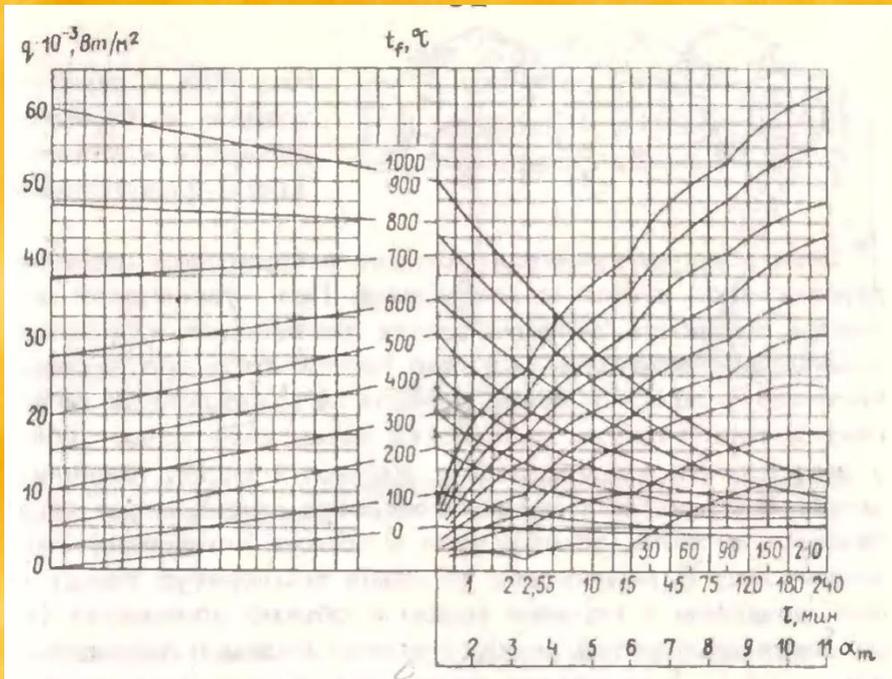
- - критерий Больцмана, характеризующий долю тепла, которую отдают продукты горения ограждающим поверхностям в лучистом теплообмене;

- $N_u = \frac{al}{\lambda}$ - критерий Нуссельта, характеризующий соотношение между теплом, передаваемым конвекцией, и теплопроводностью в идентичных условиях; r/r_0 – безразмерное время; x/x_0 – безразмерная координата; y/y_0 – безразмерная координата.

- Анализ величин, входящих в критерий Bo и Nu , показывает, что в условиях пожара среднеобъемная температура может быть представлена функцией

$$T_{\text{ср}} = t(q; a; r), \text{ где}$$

- $q = \frac{\beta v'_M Q_H^P F_{\Pi}}{F_{\text{огр}}}$ - плотность теплового потока, воспринимаемого поверхностями ограждающих конструкций, Вт/м^2 ;
- a - коэффициент избытка воздуха;
- r - время.



- Статистическая обработка экспериментальных данных позволила отыскать вид обеих функций и представить зависимости в виде номограмм.
- По номограмме можно определить изменение среднеобъемной температуры пожара во времени, а также изменение температуры среды в горизонтальном и вертикальном направлении.
- Следует помнить, что изменение среднеобъемной и локальной температуры помещения при горении твердых материалов будет отличаться от расчетного особенно в начале и конце пожара.

**СПАСИБО
за внимание**

