

ТЕМА № 5:
РАСЧЁТ СИЛ И СРЕДСТВ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА.

Учебные вопросы:

Введение	2
1. Тушение твердых горючих веществ и материалов. <i>Распространяющийся пожар</i>	3
1.1. Определение требуемого расхода воды на тушение и защиту.	7
1.2. Определение требуемого количества стволов и отделений.	7
2. Тушение пожаров ЛВЖ и ГЖ воздушно-механической пеной.	9
2.1. Не распространяющиеся пожары или условно приводящиеся к ним. Тушение по площади.....	9
3. Тушение пожаров в помещениях воздушно-механической пеной.....	11
3.1. Не распространяющиеся пожары или условно приводящиеся к ним. Объёмный способ тушения.	11
4. Тушение пожаров порошковыми огнетушащими составами.....	12
4.1. Подача порошка на площадь пожара.....	12
4.2. Подача порошка в объем зоны горения.....	12
5. Усложненные случаи расчета сил и средств для распространяющихся пожаров	14
5.1. Расчет сил и средств для тушения пожаров со стеллажным хранением ТГМ. Объемное распространение пожара.....	14
5.2. Расчет сил и средств для тушения пожаров при непрерывном истечении ЛВЖ, ГЖ на горизонтальную поверхность	16

Введение

Расчёт сил и средств является одним из важных элементов планирования боевых действий пожарных подразделений по тушению пожара.

Под силами тушения принято понимать личный состав подразделений пожарной охраны и других лиц, направленных для тушения пожаров (военнослужащие, рабочие, инженерно-технический персонал, учреждения, население и т.д.).

Под средствами понимается: огнетушащие вещества (вода, песок, негорючие и инертные газы и т.д.), различные технические средства (пожарные автомобили, мотопомпы, пожарные поезда, пожарные стволы, хозяйственная техника, приспособления для тушения пожаров и т.д.).

Расчёты сил и средств выполняют в следующих случаях:

- при установлении номера вызова в гарнизоне;
- при тушении пожаров;
- при оперативно-тактическом изучении объектов;
- при разработке планов пожаротушения;
- при подготовке пожарно-тактических учений и решении пожарно-тактических задач;
- при проведении экспериментальных работ по определению эффективности активной противопожарной защиты;
- после тушения пожара в процессе исследования пожара для оценки действий РТП и подразделений.

В соответствии с рассмотренной ранее классификацией пожаров, методика расчёта сил и средств для различных классов пожаров будет различна. Методику расчёта сил и средств также можно классифицировать, например, по видам пожаров (распространяющиеся и не распространяющиеся пожары), по способу подачи огнетушащего средства (тушение по площади, объёмное тушение) и т.д.

Несмотря на то, что в реальных условиях один вид пожара может переходить в другой (не распространяющийся в распространяющийся и наоборот) в методике расчёта, в некоторых случаях, распространяющиеся пожары условно приводятся к не распространяющимся: например, пожары резервуаров, пожары в театрах, пожары на лесобиржах, пожары самолётов и т.д. Однако в этом случае за расчётный периметр берется максимальный размер площади пожара. Так, для резервуарных парков - площадь резервуара наибольшего диаметра (а второй вариант – площадь обвалования), для театра - площадь сцены, для лесосклада - половина периметра квартала и т.д.

1. Тушение твердых горючих веществ и материалов. *Распространяющийся пожар*

Исходными данными для расчёта сил и средств являются:

- оперативно-тактическая характеристика объекта;
- время с момента возникновения пожара до начала тушения;
- линейная скорость распространения пожара;
- силы и средства, привлекаемые к тушению пожара и время сосредоточения их;
- интенсивность подачи огнетушащего вещества.

Характеристику объекта получают путем изучения его по технической документации и визуального осмотра. При этом определяют геометрические размеры помещений, характер пожарной нагрузки и её размещение на объекте с целью выбора значения линейной скорости распространения пожара, размещение водоисточников относительно объекта и т.д.

Время с момента возникновения пожара до сообщения о нём в пожарную охрану зависит от наличия на объекте определенного вида средств охраны, средств связи и сигнализации, их технического состояния, правильности действий лиц, обнаруживших пожар, и др. и принимается примерно равным 8 - 12 мин. при отсутствии автоматики.

С учетом эффекта тушения можно выделить следующие стадии развития пожара:

I - II – стадия свободного развития пожара, причем на начальной стадии – I стадии ($\tau < 10$ мин) линейная скорость распространения пожара принимается равной 50% от ее максимального нормативного значения ($V_{\text{л}} = 0.5 \cdot V_{\text{л}}^{\text{норм}}$), характерного для данной категории объектов, а с момента времени более 10 мин она принимается равной максимальному значению;

III стадия характеризуется началом введения первых стволов на тушение пожара, в результате чего линейная скорость распространения пожара уменьшается, поэтому в промежутке времени с момента введения первых стволов до момента ограничения распространения пожара (момент локализации) её значение снова принимают равным $0,5 V_{\text{л}}^{\text{норм}}$. В момент выполнения условий локализации $V_{\text{л}} = 0$.

IV стадия - ликвидация пожара.

В инженерных расчётах площадь пожара стремятся свести к простейшим геометрическим фигурам:

- площади круга (или его частей),
- площади прямоугольника и т.д.

При этом делается допущение, что пожарная нагрузка равномерно размещена, разрывы в её размещении отсутствуют, а, следовательно, значение линейной скорости во всех направлениях одинаковое.

Форма площади пожара зависит от места возникновения пожара в помещении (в центре, в углу, вблизи стены здания и т.д.) и времени. С течением времени форма площади пожара может изменяться; например, из круговой переходить в прямоугольную и т.д.

При круговом развитии пожара и времени распространения до 10 минут (I стадия) площадь пожара вычисляется по следующей формуле:

$$S_{II} = \pi \cdot (0,5 \cdot V_{л} \cdot \tau_1)^2, \quad \text{где} \quad \tau \leq 10 \text{ мин} \quad (6)$$

$$V_{л}^{\text{распр}} = 0,5 \cdot V_{л}^{\text{норм}}$$

Выражение в скобках есть не что иное, как радиус (дальность продвижения фронта) пожара:

$$R_{III} = 0,5 \cdot V_{л} \cdot \tau_1 \quad (7)$$

При времени распространения пожара более 10 мин до момента введения первых стволов на тушение пожара (II стадия) площадь пожара и его радиус рассчитываются соответственно по формулам:

$$\begin{aligned} S_{II} &= \pi \cdot (5 \cdot V_{л} + V_{л} \cdot \tau_2)^2 \\ R_{II} &= 5 \cdot V_{л} + V_{л} \cdot \tau_2 \end{aligned} \quad (8)$$

где: $\tau_2 = \tau - 10 \text{ мин}$

τ - время, на момент которого определяется S_n или R_n .

При ограничении распространения пожара стенами помещения, площадь пожара будет принимать форму полукруга или сектора при загорании у одной из стен или в углу помещения. Тогда расчётные формулы будут выглядеть следующим образом:

$$S_{II} = \frac{\pi}{2} \cdot (0,5 \cdot V_{л} \cdot \tau_1)^2; \quad \tau_1 \leq 10 \text{ мин.} \quad (9)$$

$$S_{II} = \frac{\pi}{2} \cdot (5 \cdot V_{л} + V_{л} \cdot \tau_2)^2; \quad \tau \geq 10 \text{ мин} \quad \tau_2 = \tau - 10 \text{ мин}$$

(Полукруговое развитие пожара)

$$S_{II} = \frac{\pi}{4} \cdot (0,5 \cdot V_{л} \cdot \tau_2)^2; \quad \tau \leq 10 \text{ мин.} \quad (10)$$

$$S_{II} = \frac{\pi}{4} \cdot (5 \cdot V_{л} + V_{л} \cdot \tau_2)^2; \quad \tau \geq 10 \text{ мин.}$$

(Угловое развитие пожара)

где: $\tau_2 = \tau - 10 \text{ мин}$

В помещениях, у которых длина в несколько раз превышает ширину, например, в коридорах гостиничных комплексов и т.д., пожар только на самой ранней стадии будет иметь круговую форму, а затем переходит в прямоугольную. В зависимости от места возникновения пожар будет распространяться в одном направлении или в нескольких одновременно.

При этом расчётные формулы будут иметь следующий вид:

$$S_{II} = n \cdot a \cdot (0,5 \cdot V_{л} \cdot \tau_1) \quad \text{при} \quad \tau_1 \leq 10 \text{ мин} \quad (11)$$

$$S_{II} = n \cdot a \cdot (5 \cdot V_{л} + V_{л} \cdot \tau_2) \quad \text{при} \quad \tau \geq 10 \text{ мин} \quad (12)$$

где: $\tau_2 = \tau - 10 \text{ мин}$

Глубина фронта пожара рассчитывается по формуле

$$l_{\phi.П} = 0,5 \cdot V_{л} \cdot \tau_1 \quad \text{при } \tau \leq 10 \text{ мин}$$

$$l_{\phi.П} = 5 \cdot V_{л} + V_{л} \times \tau_2 \quad \text{при } \tau \geq 10 \text{ мин}$$

где: а и п – соответственно, ширина помещения и количество направлений распространения пожара.

На третьей стадии пожара (с момента введения первых стволов и до момента локализации пожара) значение линейной скорости в расчётах принимается равным 50 % от нормативного значения, т.е. $V_{л} = 0,5V_{л}^{норм}$. В этом случае расчёт площади пожара производится по следующим формулам:

$$S_{П} = \pi \cdot (5 \cdot V_{л} + V_{л} \cdot \tau_2 + 0,5 \cdot V_{л} \cdot \tau_3)^2 \quad (13) \quad (\text{круговое развитие})$$

$$S_{П} = \frac{\pi}{2} \cdot (5 \cdot V_{л} + V_{л} \cdot \tau_2 + 0,5 \cdot V_{л} \cdot \tau_3)^2 \quad (14) \quad (\text{полукруговое развитие})$$

$$S_{П} = \frac{\pi}{4} \cdot (5 \cdot V_{л} + V_{л} \cdot \tau_2 + 0,5 \cdot V_{л} \cdot \tau_3)^2 \quad (15) \quad (\text{угловое развитие})$$

$$S_{П} = n \cdot a \cdot (5 \cdot V_{л} + V_{л} \cdot \tau_2 + 0,5 \cdot V_{л} \cdot \tau_3)^2 \quad (16) \quad (\text{прямоугольное развитие})$$

где: $\tau_3 = \tau_T - \tau_{вв}$

τ_T - текущий момент времени;

$\tau_{вв}$ - время введения первых стволов на тушение;

$$\tau_3^{\max} = \tau_{лок} - \tau_{вв}$$

где: $\tau_{лок}$ - время локализации пожара.

Однако в некоторых случаях пожарные подразделения не могут подать огнетушащее вещество одновременно на всю площадь пожара, например, при недостатке сил и средств, недостаточной дальнобойности струй пожарных стволов, тогда тушение осуществляется по фронту распространяющегося пожара, т.е. по площади тушения, которая составляет некоторую часть от площади пожара. При этом пожар локализуется на решающем направлении, а затем осуществляется процесс его тушения.

Площадь тушения - S_T (часть площади пожара, на которую в данный момент времени подаётся огнетушащее вещество) для указанных выше геометрических форм площади пожара определяется по формулам:

а) при круговой форме: $S_T = \pi(R^2 - r^2); \quad (18)$

$$S_T = \pi h_T (2R - h_T); \quad (19)$$

б) при полукруговой и угловой соответственно:

$$S_T = 0,5 \pi h_T (2R - h_T); \quad (20)$$

$$S_T = 0,25 \pi h_T (2R - h_T); \quad (21)$$

Нетрудно заметить, что при круговом развитии пожара площадь тушения имеет кольцевое сечение, с толщиной кольца равной глубине тушения ствола.

Глубина тушения h_T стволов соответственно принимается равной

$$h_T = 5 \text{ м} - \text{для ручных стволов};$$

$h_T = 10$ м - для лафетных стволов;

$h_T = 15$ м – для мониторов и водяных «пушек».

в) при прямоугольной форме, при возможности подачи стволов по всему периметру пожара

$$S_T = 2h_T(a + b - 2h_T) \quad (22)$$

где: a и b – соответственно, ширина и длина фронта пожара.

г) при прямоугольной форме пожара, подача стволов по фронту распространяющегося пожара

$$S_T = n \times a \times h_T \quad (23)$$

где: a и n - соответственно ширина помещения и количество направлений подачи стволов.

В зависимости от формы площади тушения процесс тушения пожара может протекать по разному.

Тушение пожаров, у которых $S_T = Var$.

При круговом развитии пожара или при тушении прямоугольного пожара по всему периметру значение площади тушения есть функции времени. После достижения условий локализации в процессе тушения пожара площадь тушения будет уменьшаться, если принять, что глубина тушения стволов не изменяется $h_m = const = 5 \div 10$ м. Тогда возможны два случая тушения пожара.

1-й случай. Процесс тушения ведут до самого конца с постоянным расходом воды $Q_\phi = Q_{тр} = const$, который был достигнут в момент локализации пожара. В этом случае по мере протушивания площади пожара и продвижения ствольщиков к центру очага первоначального пожара, площадь тушения будет уменьшаться. Следовательно, при неизменном расходе воды фактическое значение интенсивности подачи будет возрастать и в пределе стремиться к бесконечности

$$I_{факт} = \frac{Q_\phi}{S_T \rightarrow 0} = Var \rightarrow \infty$$

При этом время ликвидации пожара будет минимальным.

2-й случай. После достижения условия локализации пожара $Q_\phi \geq Q_{тр}$ процесс тушения пожара ведут с переменным расходом огнетушащего вещества $Q_\phi = Q_{тр}$, последовательно выводя силы и средства, т.е. обеспечивая постоянство интенсивности подачи $I_\phi = I_{тр} = const$ с уменьшением площади тушения. В этом случае время ликвидации пожара будет больше, чем в случае 1.

Тушение пожаров, у которых $S_T = const$

Площадь тушения имеет постоянное значение у пожаров прямоугольной формы с односторонним или многосторонним развитием. В этом случае возможен только один из вариантов тушения пожара - фактическое значение расхода огнетушащего вещества поддерживается в течение всего времени тушения постоянным $Q_\phi \geq Q_{тр}$, т.к. в противном случае будет нарушено условие локализации пожара.

1.1. Определение требуемого расхода воды на тушение и защиту.

В зависимости от обстановки на пожаре и тактических возможностей подразделений, требуемый расход огнетушащего вещества для тушения ТГМ определяют на всю площадь пожара или только на площадь тушения.

Расчёт ведут формулам:

$$Q_{тр}^T = S_{п} \cdot I_{тр} \quad (24)$$

$$Q_{тр}^{лок} = S_{т} \cdot I_{тр} \quad (25)$$

Нередко обстановка на пожаре требует подачи определённых расходов воды на защиту негорящего объекта (помещения, резервуара, выше расположенного этажа и т.п.), расположенного вблизи объекта пожара. В таких случаях чаще всего исходят из количества мест защиты (например, один - два ствола с расходом 3,5 - 7,0 л/с на этаж, лестничную клетку, подвальное и чердачное помещение и др.). Расходы огнетушащих веществ на защиту определяют по площади, на которую возможно распространение пожара или периметру защищаемого объекта. Интенсивность подачи огнетушащего вещества на защиту объекта, которому угрожает распространение пожара, принимают по руководящим или справочным документам или, исходя из опыта тушения пожаров, в 2 ÷ 4 раза меньше по сравнению с интенсивностью на непосредственное тушение.

Поскольку процесс развития и тушения распространяющихся пожаров носит динамический характер, следовательно, и алгоритм расчёта требуемого количества сил и средств должен учитывать динамику развития пожара и динамику сосредоточения и введения сил и средств на тушение пожара в соответствии с расписанием выезда пожарных подразделений на пожар.

После определения требуемых расходов воды на тушение пожара и защиту, переходят к определению требуемого количества стволов и отделений.

1.2. Определение требуемого количества стволов и отделений.

Количество стволов определяют по формулам

$$N_{ств}^T = \frac{Q_{тр}^T}{q_{ств}} \quad (26)$$

$$N_{ств}^3 = \frac{Q_{тр}^3}{q_{ств}} \quad (27)$$

Общее количество стволов на тушение пожара и защиту смежных объектов будет равно:

$$N_{ств}^{общ} = N_{ств}^T + N_{ств}^3 \quad (28)$$

Количество отделений, которое необходимо вызвать на пожар, определяют, исходя из тактических возможностей их боевых расчётов.

Практически количество оперативных отделений находят делением требуемого расхода огнетушащего вещества на расход, который может обеспечить одно отделение (один боевой расчёт)

$$N_{отд}^{тр} = \frac{Q_{тр}}{q_{отд}} \quad (29)$$

Количество отделений можно рассчитать также по формуле

$$N_{отд}^m = \frac{N_{ств}^{mp}}{N_{ств.отд}} \quad (30)$$

где: $N_{ств}$ – требуемое количество стволов на тушение;
 $N_{ств.отд}$ - требуемое количество стволов которое может
подать одно отделение.

В большинстве случаев, как показала практика, одно отделение может подать на тушение горящих и защиту соседних объектов не более 14 - 20 л/с воды (без необходимости защиты органов дыхания). Поэтому при решении задач, безотносительно к какому гарнизону они относятся, принимают эти усреднённые величины.

На водоисточники следует устанавливать не всю технику, которая определена расчётом, а такое её количество, которое обеспечивало бы подачу расчётного расхода. Такой оптимальный расход проверяют путём проверки по принятым схемам боевого развертывания, с учетом длины рукавных линий и расчётного количества стволов. В любом из указанных случаев, если позволяют условия (в частности, насосно-рукавная система), боевые расчёты прибывающих подразделений должны использоваться для работы от уже установленных на водоисточники автомобилей. Это обеспечит не только использование техники на полную мощность, но и ускорит введение сил и средств на тушение пожара.

2. Тушение пожаров ЛВЖ и ГЖ воздушно-механической пеной.

2.1. Не распространяющиеся пожары или условно приводящиеся к ним. Тушение по площади.

Для тушения пожаров ЛВЖ, ГЖ в настоящее время используется преимущественно пена средней ($K = 70 - 100$) или низкой кратности ($K \leq 10$).

Исходные данные для расчёта:

- а) площадь пожара;
- б) интенсивность подачи раствора пенообразователя;
- в) интенсивность подачи воды на охлаждение;
- г) расчётное время тушения;

Несмотря на то, что эти пожары также являются *распространяющимися* (например, истечение жидкости через неплотности во фланцевых соединениях и др.) в практике их приводят к *не распространяющимся*, а за расчётный параметр берут площадь зеркала жидкости наибольшего резервуара или обвалования, или наибольшую возможную площадь разлива ЛВЖ (пожары самолётов).

Тушение пожаров в резервуарах состоит из 2-х этапов: локализации и ликвидации. На первом этапе (локализация) производят охлаждение горящего и соседних с горящим резервуаров. Одновременно с проведением локализации пожара производится сосредоточение сил и средств для проведения пенной атаки.

Расход воды на охлаждение (защиту) горящего металлического резервуара определяют по формуле

$$Q_{тр}^{3.Г.} = \pi \cdot D_p \cdot I_{тр}^c \quad (31)$$

где: $I_{тр}^c$ - интенсивность подачи воды, равная 0,8 л/с·м (при горении жидкости в обваловании интенсивность увеличивается до 1,2 л/с·м длины окружности резервуара, находящегося в зоне непосредственного воздействия пламени).

На защиту соседних с горящим резервуаром и отстоящих от него до двух нормативных расстояний требуемый расход воды определяется по формуле:

$$Q_{тр}^{3.с.} = 0,5 \cdot \pi \cdot D \cdot I_{тр}^c \quad (32)$$

где: $I_{тр}^c = 0,3 \text{ л/с} \cdot \text{м}$ (на половину периметра резервуара)

Тушение. Определение требуемого расхода раствора пенообразователя производят по известной формуле:

$$Q_{тр}^{р-ра} = S_{п} \cdot I_{норм} = \frac{\pi \cdot D_p}{4} \cdot I_{норм} \quad (33)$$

где: D_p - диаметр горящего резервуара, м;

$I_{норм}$ - интенсивность подачи раствора пенообразователя, которая при тушении пеной средней кратности в зависит от температуры вспышки паров горячей жидкости и находится в следующих пределах:

$$t_{всп}^{ГЖ} \leq 28^\circ \text{C} \quad I_{тр} = 0,08 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2$$

$$t_{всп}^{ГЖ} \geq 28^{\circ} C \quad I_{тр} = 0,05 \quad л/с \cdot м^2$$

При расчёте сил и средств для тушения пожаров в резервуарах со спиртами необходимо также определить требуемый расход воды для разбавления спирта до требуемой % концентрации, зависящей от вида используемого пенообразующего концентрата. Интенсивность подачи воды в данном случае принимают от 0,3 до 1 л/с м² в зависимости от принятого времени разбавления спирта водой.

Требуемое количество генераторов пены средней кратности типа ГПС рассчитывается по формуле:

$$N_{ГПС} = \frac{Q_{тр}^{p-pa}}{q_{гис}} = \frac{\pi \cdot D_p^2}{4} \cdot \frac{I_{норм}}{q_{ГПС}} \quad (34)$$

где: $q_{ГПС}$ - расход раствора пенообразователя, для ГПС - 600 и ГПС-2000, принимается соответственно 6 л/с и 20 л/с.

Для проведения быстрых ориентировочных расчётов удобно запомнить, что один ствол ГПС-600 обеспечивает тушение пожара нефтепродуктов за расчётное время с температурой вспышки 28 °С и ниже на площади 75 м² и тушение нефти и жидкостей с температурой вспышки свыше 28 °С на площади 120 м².

При тушении пожаров жидкостей пенами необходимо сосредоточить у места пожара и подготовить к непрерывной подаче расчётное количество и резерв пенообразующих средств.

Требуемое количество пенообразователя для тушения пожара определяют по формуле:

$$W_{ПО}^{ТР} = Q_{тр} \cdot C \cdot \tau_n \cdot k_3 = \frac{\pi \cdot D_p^2}{4} \cdot I_{норм} \cdot C \cdot \tau_n \cdot k_3 \quad (35)$$

$$\text{или} \quad W_{ПО}^{ТР} = N_{ГПС} \cdot q_{ГПС} \cdot C \cdot \tau_n \cdot k_3 \quad (36)$$

где: C - концентрация пенообразователя в растворе в долях;

τ_n - нормативное время тушения пожара;

(принимается равным 15 мин)

K - коэффициент запаса, принимается равным 3.

Требуемое количество отделений на тушение пожара определяется по формуле:

$$N_{отд}^T = \frac{N_{ГПС}^T}{n_{ГПС}} \quad (37)$$

где: $n_{ГПС}$ - количество ГПС, которое может подать одно отделение.

Общее количество отделений будет равно:

$$N_{отд}^{общ} = N_{отд}^3 + N_{отд}^T \quad (38)$$

3. Тушение пожаров в помещениях воздушно-механической пеной.

3.1. Не распространяющиеся пожары или условно приводящиеся к ним. Объёмный способ тушения.

При пожарах в помещениях иногда прибегают к тушению пожара объемным способом, т.е. заполняют весь объем воздушно-механической пеной (трюмы судов, кабельные тоннели, подвальные помещения и т.д.).

В этом случае требуемое количество стволов ГПС получают из следующих выражений

$$W_{пены}^{mp} = W_{пом} \cdot K_p \quad (39)$$

$$\text{или } N_{ГПС} \cdot q_{ГПС} \cdot K_{п} \cdot \tau_n = W_{пом} \cdot K_p$$

$$N_{ГПС} = \frac{W_{пом} \cdot K_p}{q_{ГПС} \cdot K_{п} \cdot \tau_n} \quad (40)$$

где: $W_{пом}$ - объем помещения, м³;
 $q_{ГПС}$ - расход раствора пенообразователя из ГПС, м³/с;
 K_p - коэффициент разрушения пены,
принимается равным 3;
 τ_n - нормативное время тушения,
принимается равным 10 мин;
 $K_{п}$ – кратность пены (70 – 100).

Требуемое количество раствора пенообразователя определяется по формуле:

$$W_{ПО}^{TP} = N_{ГПС}^{TP} \cdot q_{ГПС} \cdot C_{ПО} \cdot \tau_n \quad (41)$$

где: $C_{ПО}$ - концентрация пенообразователя в растворе в долях.

Необходимое количество отделений определяется по формуле:

$$N_{ОТД}^{TP} = \frac{N_{СТВ}^{TP}}{n_{СТВ}^{ОТД}} \quad (42)$$

Количество автомобилей пенного тушения типа АПТ-40 для доставки расчётного запаса к месту пожара будет равно

$$N_{АПТ-40}^{TP} = \frac{W_{ПО}^{TP}}{W_{АПТ-40}}$$

где: $W_{АПТ-40}$ - емкость цистерны автомобиля АПТ-40,
принимается по техническим данным автомобиля, л, м³.

4. Тушение пожаров порошковыми огнетушащими составами.

4.1. Подача порошка на площадь пожара.

В последнее время все шире в практику пожаротушения внедряются порошковые огнетушащие составы (ПОС). Порошковые огнетушащие составы эффективно тушат пожары классов: А (ТГМ), В (жидкостей), С (газов), Д (металлов) и т.д. На вооружении подразделений пожарной охраны находятся автомобили порошкового тушения типа АП-3, АП-5 и АКТ (автомобиль комбинированного тушения), АА (автомобиль аэродромный).

В зависимости от обстановки на пожаре тушение осуществляется лафетными стволами, имеющими расход порошка 30 - 40 кг/с, или ручными с расходом 2, 4, 12 кг/с. Подача ПОС на площадь пожара производится при тушении пожаров твердых горючих материалов, жидкостей, металлов.

При этом методика расчёта сил и средств сводится к определению следующих параметров (4 п.):

1. Определению требуемого расхода ПОС

$$Q_{mp}^{\Pi} = S_{\Pi} \cdot I_{\text{тр}} \quad (44)$$

где: $I_{\text{тр}}$ - для отечественных порошков общего назначения принимается равной 0,3 кг/см².

2. Определению требуемого количества стволов

$$N_{\text{ств}}^{mp} = \frac{Q_{mp}^{\Pi}}{q_{\text{ств}}} \quad (45)$$

3. Определение требуемой массы порошка для тушения пожара

$$M_{\Pi}^{\text{ТР}} = S_{\Pi} \cdot I_{\text{тр}} \cdot \tau_p \quad (46)$$

$$\text{или} \quad M_{\Pi}^{\text{ТР}} = S_{\Pi} \cdot q_{\text{уд}} \quad (47)$$

где: τ_p - расчётное время тушения, принимается равным 30 с;
 $q_{\text{уд}}$ - требуемый удельный расход порошка, кг/м².

Удельный расход порошка отечественного производства общего назначения при тушении пожаров ТГМ и жидкостей ориентировочно составляет 2 - 5 кг/м², порошков специального назначения при тушении пожаров металлов 30 - 50 кг/м².

4. Требуемое количество автомобилей порошкового тушения будет равно

$$N_{\text{АП}}^{\text{ТР}} = \frac{M_{\Pi}^{\text{ТР}}}{M_{\text{АП}}} \quad (48)$$

4.2. Подача порошка в объём зоны горения.

Пожары на открытых технологических установках в виде факельного горения или пожары газовых и нефтяных фонтанов тушатся объёмным способом, т.е. подачей порошка в объём зоны горения. Подача порошка на тушение может производиться с помощью порошковых автомобилей и других технических средств. При тушении порошковыми автомобилями методика расчёта сил и средств сводится к следующему:

1. Определению требуемого расхода порошка

$$Q_{\Pi}^{\text{ТР}} = Q_r \cdot C_{\text{ТР}} \quad (49)$$

где: Q_{Γ} – расход аварийно истекающего горючего газа, м³/с;
 $C_{\text{тр}}$ – огнетушащая концентрация порошка, принимается
равной 0,8 - 1 кг/м³.

2. Определению требуемого количества стволов

$$N_{\text{ств}}^{\text{тр}} = \frac{Q_{\text{п}}^{\text{тр}}}{q_{\text{ств}}} \quad (50)$$

3. Определению требуемой массы порошка

$$M_n^{\text{тр}} = Q_{\Gamma} \cdot C_{\text{ТР}} \cdot \tau_P \quad (51)$$

где: τ_p – расчётное время тушения, принимается равным 30 с.

4. Определению требуемого количества порошковых автомобилей

При тушении мощных пожаров фонтанов с дебитом 5 - 10 млн. м³/сутки, требуемое количество автомобилей порошкового тушения будет определяться не требуемой массой порошка, а требуемым секундным расходом порошка, т.к. производительность стволов порошковых автомобилей ограничена расходом в 30 или 40 кг/с.

$$N_{\text{АП}} = \frac{Q_{\text{п}}^{\text{тр}}}{q_{\text{лаф.ств}}} \quad (52)$$

$$(N_{\text{АП}} = \frac{M_{\text{п}}^{\text{тр}}}{M_{\text{АП}}})$$

В последнее время в практику пожаротушения фонтанов внедряется вихрепорошковый способ тушения. В этом способе порошковый состав подается в объём зоны горения импульсно, путём использования энергии взрыва заряда взрывчатого вещества. В этом случае расчёт сил и средств производится по следующей методике:

1. Масса порошка в кг определяется по формуле

$$M_{\text{п}}^{\text{тр}} = 2 \cdot \left(\frac{H_{\text{ф}}}{10}\right)^3 \quad (53)$$

где: $H_{\text{ф}}$ - высота факела пламени, м.

2. Масса заряда взрывчатого вещества

$$m_{\text{вв}} = 0,012 \cdot M_{\text{п}}^{\text{тр}} \quad (54)$$

3. Диаметр кольцевой траншеи, в которую засыпается порошок, определяется по формуле:

$$d_{\text{к}} = 0,04 \cdot H_{\text{ф}} \quad (55)$$

5. Усложненные случаи расчета сил и средств для распространяющихся пожаров

5.1. Расчет сил и средств для тушения пожаров со стеллажным хранением ТГМ. Объемное распространение пожара

Рассмотрим физическую картину возникновения и развития пожара в помещении со стеллажным хранением горючих материалов.

В начальной стадии развития пожар распространяется по стеллажам во всех направлениях (снизу-вверх, сверху-вниз, горизонтально), т.е. носит объемный характер.

В стадии развившегося пожара, когда огнем охвачена большая часть стеллажей, в районе расположения первоначального очага пожара могут происходить обрушения стеллажей, а на путях его распространения пожар будет иметь объемный характер (см. рис. 7). При этом горение пожарной нагрузки, расположенной на стеллажах, будет происходить как по вертикали, так и по горизонтальным поверхностям. В этом случае фронт пожара будет раздроблен стеллажами на вертикальные и горизонтальные участки, а его суммарная длина ($l_{ф.п.}$) в зависимости от конструктивных размеров стеллажей и помещения склада может быть намного больше ширины склада.

Площадь пожара – основной параметр, характеризующий суммарное тепловыделение на пожаре, при определенных допущениях может быть рассчитана на любой момент времени по известным из пожарно-технической литературы зависимостям.

Поскольку из-за конструктивно объемного решения складского помещения и характера размещения пожарной нагрузки огнетушащее средство не может быть подано одновременно на всю площадь пожара, тушение таких пожаров должно сводиться к созданию условий локализации пожара на возможных путях его распространения и последующей локализации.

Следовательно, для успешного тушения такого пожара должно быть выполнено основное условие локализации:

$$Q_{ф}^{лок} \geq Q_{тр}^{лок}$$
$$Q_{тр}^{лок} = \sum S_T \cdot I_{тр}$$

где: $\sum S_T$ – суммарная площадь тушения на путях распространения пожара;

$I_{тр}$ – нормативная интенсивность подачи огнетушащего средства, которая зависит от физико-химических свойств пожарной нагрузки;

$Q_{ф}^{лок}$ – фактический расход воды, который могут обеспечить пребывающие пожарные подразделения.

В свою очередь, площадь тушения может быть предоставлена как:

$$\sum S_T = l_{ф.п.} \cdot h_T \cdot n$$

где: $l_{ф.п.}$ – приведенная длина фронта пожара, м;

h_T – глубина тушения стволов, которая для ручных стволов принимается равной - 5м, а для лафетных – 10м;

n – количество направлений распространения пожара, в рассматриваемом периметре $n = 2$.

Поскольку фронт пожара на путях распространения имеет вертикальные и горизонтальные составляющие, приведенная длина фронта $l_{ф.п.}$ может быть выражена:

$$l_{ф.п.} = (2 \cdot H_{ст} + a_{ст}) \cdot n_{ст}^Г$$

где: $H_{ст}$ и $a_{ст}$ – соответственно высота и ширина стеллажа;
 $n_{ст}^Г$ – количество стеллажей, охваченных пожаром.

После соответствующих преобразований получим выражение требуемого расхода огнетушащего средства для локализации пожара в следующем виде:

$$Q_{мп}^{лок} = \sum S_T \cdot I_{мп} = (2 \cdot H_{ст} + a_{ст}) \cdot n_{ст}^Г \cdot n \cdot h_T \cdot I_{мп}$$

В дальнейшем расчет сводиться не к определению количества стволов, как это делается обычно, а к определению типа стволов в зависимости от требуемой производительности стволов.

Равномерность интенсивности подачи огнетушащего средства по фронту распространения пожара может быть обеспечена при соблюдении условия:

$$N_{ств}^{мп} = N_{прох} \cdot n = \frac{Q_{мп}^{лок}}{q_{ств}^{мп}}$$

где: $N_{прох}$ – количество проходов между горящими и соседними стеллажами;
 n – количество направлений распространения пожара.

То есть для обеспечения равномерности интенсивности подачи огнетушащего средства в каждый проход между стеллажами должно подаваться не менее чем по одному стволу с каждого из направлений локализации пожара.

Тогда требуемый расход огнетушащего средства из ствола (стволов) подаваемого в проход между стеллажами может быть рассчитан по формуле

$$q_{ств}^{мп} = \frac{Q_{мп}^{лок}}{N_{прох} \cdot n}$$

где: $q_{ств}^{тр}$ – требуемый расход огнетушащего средства из ствола.

Поскольку применяемые в отечественной пожарной охране стволы не имеют плавной регулировки расхода, а осредненные значения расходов для ручных стволов типа РС-50, РС-70 соответственно составляют 3,5 л/с; 7,0 л/с и 10 л/с (переносных лафетных стволов 15 и 20 л/с), то для тушения пожара принимают стволы ближайšie по производительности к расчетной ($q_{ств}^ф \geq q_{ств}^{мп}$), таким образом, чтобы было соблюдено основное условие локализации пожара на путях его распространения $Q_{лок}^ф \geq Q_{лок}^{мп}$.

При тушении стеллажей выше 15 м рекомендуется подавать ручные и лафетные стволы, причем струи из лафетных стволов должны направляться в верхнюю часть горящих стеллажей, а также в завалы, вызванные обрушением стеллажей.

5.2. Расчет сил и средств для тушения пожаров при непрерывном истечении ЛВЖ, ГЖ на горизонтальную поверхность

В практике пожаротушения нередко встречаются пожары, когда в результате аварии ЛВЖ, ГЖ непрерывно поступает технологическую площадку предприятия через образовавшиеся неплотности в трубопроводах и аппаратах.

Например, такой случай наблюдается при пожаре в резервуарном парке Кириширского нефтеперерабатывающего завода (Ленинградская область). При этом площадь пожара разлившегося нефтепродукта обвалования резервуара составляла около 7000 – 10000 м².

Прежде чем переходить непосредственно к расчету требуемого количества сил и средств рассмотрим физическую картину развития такого пожара.

Если воспламеняющаяся жидкость вытекает из резервуара (аппарата, трубопровода и т.п.) вследствие его разрушения или утечки, может возникнуть большое множество различных опасностей возникновения пожара. Конкретная ситуация развития пожара будет зависеть от множества факторов: свойства горючего, гидростатического напора, физико-химических свойств поверхности площадки (обвалования), метеоусловий, уклона поверхности, наличия преград и т.п.

Известно, что основным огнетушащим средством для тушения пожаров ЛВЖ, ГЖ является воздушно механическая пена средней кратности. В нашей стране в настоящее время широкое применение для тушения таких пожаров находит пена кратностью $K = 70 - 100$.

Требуемый расход раствора пенообразователя для тушения пожара определяется по известной универсальной формуле:

$$Q_{p-pa}^{mp} = S_n(\tau) \cdot I_{mp}$$

Трудность расчета требуемого количества сил и средств при непрерывном истечении ЛВЖ и ГЖ заключается в определении возможного размера площади пожара (S_n) к моменту сосредоточения сил и средств.

В этом случае размеры возможной площади пожара могут колебаться в широких пределах, от тонких локализованных пленок небольшой площади, до пожаров крупных размеров. Определение увеличивающейся площади пожара при непрерывном истечении жидкости является трудноразрешимой задачей вследствие того, что переменные зависят как от местоположения, так и времени. В наиболее общем случае характер распространения пожара при истечении горючей жидкости будет определяться топографией площадки. Небольшие изменения в топографических условиях могут существенно изменить направление и протяженность, на которую будет распространяться слой истекающей горючей жидкости. Количество движения потока топлива, непрерывно «подпитывающего» растекающуюся лужу, также может оказать влияние на направление разрастания этой растекающейся жидкости.

Для того, чтобы лучше понять зависимость между расходом истекающей из резервуара (трубопровода) горючей жидкости и размером постоянно изменяемой во времени (увеличивающейся) площади пожара, рассмотрим более упрощенный подход к данной проблеме.

Примем следующие допущения, что необходимая площадь жидкого топлива получится, когда утечка топлива имеет место на относительно гладкую и ровную поверхность (внешние границы жидкого пятна топлива не имеют ограничений по

периметру), жидкое пятно распространяется до некоторой однородной и постоянной глубины (наиболее жесткие условия). В этом случае, зависящий от времени масштаб пожара (его площадь), будет связан непосредственно с секундным расходом истекающего горючего.

Для прогнозирования обстановки на пожаре существенный интерес представляет размер максимальной площади пожара и время выгорания разлившейся жидкости, которые будут характеризоваться параметрами утечки жидкости.

Попробуем дать аналитическое описание процесса формирования растекающегося слоя жидкости. Предложим, что резервуар определенных размеров размещен на некотором расстоянии над уровнем h_0 площадки и содержит известное количество горючей жидкости. В момент времени $\tau = 0$ произошло разрушение резервуара, в результате чего образовалось отверстие, имеющее площадь F_0 , через некоторое время начинает вытекать горючая жидкость. Предполагается, что площадь истекающего жидкого топлива распространяется радиально с постоянной скоростью и пленка жидкости имеет некоторую однородную толщину b .

Считая, что динамический процесс распространения пятна истекающей горючей жидкости должен быть стационарным, сохранение массы во вновь образованном «резервуаре» (пятне растекающейся жидкости), не имеющем границ, требует, чтобы удовлетворялась следующая зависимость:

$$\frac{2}{d\tau} \left(2\pi \int_0^R \int_0^{\bar{b}} \rho_T \times \right)$$