

Практическое занятие №5 Расчёт параметров развития пожара

При решении пожарно-тактических задач используют следующие параметры развития пожара:

Пространственные: площадь пожара $S_{\text{п}}$, м²; площадь тушения $S_{\text{т}}$, м²; периметр пожара $P_{\text{п}}$, м; фронт пожара $\Phi_{\text{п}}$, м.

Временные: время свободного развития пожара $\tau_{\text{св.р}}$, мин.

Скоростные: линейную скорость распространения пламени $V_{\text{л}}$, м/мин; скорость роста площади пожара $V_{\text{сп}}$, м²/мин; скорость роста периметра пожара $V_{\text{рп}}$, м/мин; скорость роста фронта пожара $V_{\text{фп}}$, м/мин.

Линейная скорость распространения горения характеризует способность горючего материала к перемещению по своей поверхности высокотемпературной зоны химических превращений (пламенной зоны горения). Этот параметр зависит от многих факторов, в частности от физико-химических свойств горючего материала, его агрегатного состояния, условий тепло-, массо- и газообмена на пожаре и т.п. Величину $V_{\text{л}}$ определяют по формуле

$$V_{\text{л}} = \frac{\Delta L}{\Delta \tau}; \quad (1.1)$$

где: ΔL – путь, пройденный пламенем за время $\Delta \tau$, м.

Средние значения $V_{\text{л}}$ при пожарах на различных объектах приведены в Приложение 1 или в НПБ 201-96.

Время свободного развития пожара $\tau_{\text{св.р}}$ - временной промежуток от момента возникновения горения до начала подачи первых приборов тушения на его ликвидацию:

$$\tau_{\text{св.р}} = \tau_{\text{д.с}} + \tau_{\text{сб}} + \tau_{\text{сл}} + \tau_{\text{б.р}}; \quad (1.2)$$

где: $\tau_{\text{д.с}}$ - время от возникновения до сообщения о пожаре (принимается 8-10 мин для городских населённых пунктов, 10-14 мин - для сельских населённых пунктов или исходя из опыта тушения пожаров), мин; $\tau_{\text{сб}}$ - время, затрачиваемое на обработку вызова диспетчером, сбор и выезд по тревоге; $\tau_{\text{сб}}$ составляет 1 мин; $\tau_{\text{сл}}$ - время следования к месту пожара боевых расчётов пожарных подразделений, мин; $\tau_{\text{б.р}}$ - время боевого развёртывания (прил. 2,3).

Площадь пожара - площадь проекции зоны горения на горизонтальную (вертикальную) плоскость, м².

Если горение происходит на нескольких этажах здания, то общая площадь пожара определяется как сумма площадей на всех этажах:

$$S_{\text{п}} = \sum_{i=1}^n S_{\text{п},i}; \quad (1.3)$$

где: $S_{\text{п},i}$ - площадь пожара на i -м этаже, м²; n - число этажей.

Периметр пожара - длина внешней границы площади пожара, м.

Фронт пожара - часть периметра (или периметр) пожара, в направлении которого происходит наиболее интенсивное распространение горения, м.

Для вычисления площади пожара, его периметра и фронта необходимо знать его геометрическую форму.

При определении формы площади пожара задаются следующими условиями (ограничениями):

1) огонь от очага воспламенения распространяется по всем направлениям с одинаковой скоростью. Поэтому, первоначально пожар имеет круговую форму и его площадь можно определить по формуле

$$S_{\pi} = k \cdot \pi \cdot L^2; \quad (1.4)$$

где: k - коэффициент, учитывающий величину угла α , в направлении которого происходит распространение пламени; $k = 1$, если $\alpha = 360^\circ$ (рис. 1.1); $k = 0,5$, если $\alpha = 180^\circ$ (рис. 1.2); $k = 0,25$, если $\alpha = 90^\circ$ (рис. 1.3); L - путь, пройденный пламенем за время τ .

2) при достижении пламенем границ горючей нагрузки или ограждающих стен здания (помещения), фронт горения спрямляется и распространение пламени идет вдоль границы горючей нагрузки или стен здания (рис. 1.4);

3) линейная скорость распространения пламени $V_{\text{л}}$ с развитием пожара меняется: в первые 10 мин свободного развития пожара $V_{\text{л}}$ принимают равной половине $V_{\text{л}}^{\text{норм}}$; после 10 мин - нормативные значения ($V_{\text{л}}^{\text{норм}}$), с начала воздействия огнетушащими средствами на зону горения до локализации пожара, используемую в расчёте $V_{\text{л}}^{\text{норм}}$ уменьшают в два раза.

Для определения формы площади пожара и численных значений S_{π} на конкретный момент времени необходимо знать путь, пройденный пламенем на этот момент времени. В общем случае путь пройденный пламенем за промежуток времени определяется по формуле:

$$L = V_{\text{л}} \cdot \tau; \quad (1.5)$$

С учётом условия 3), при известных значениях $V_{\text{л}}$, путь, пройденный пламенем, для характерных временных промежутков развития пожара, будет определяться по следующим формулам:

$$1) [0 < \tau \leq 10] \quad L = 0,5 \cdot V_{\text{л}} \cdot \tau \quad (1.6)$$

$$2) [10 < \tau < \tau_{\text{св.р}}] \quad L = 0,5 \cdot V_{\text{л}} \cdot 10 + V_{\text{л}} \cdot (\tau - 10) \quad (1.7)$$

$$3) [\tau_{\text{св.р}} \leq \tau < \tau_{\text{лок}}] \quad L = 0,5 \cdot V_{\text{л}} \cdot 10 + V_{\text{л}} \cdot (\tau_{\text{св.р}} - 10) + 0,5 \cdot V_{\text{л}} \cdot (\tau - \tau_{\text{св.р}}) \quad (1.8)$$

Динамика изменения площади пожара характеризуется скоростью роста площади пожара. Этот параметр определяется как первая производная от площади пожара по времени:

$$V_{S_{\pi}} = \frac{dS_{\pi}}{d\tau}; \quad (1.9)$$

Если пожар имеет прямоугольную форму, то площадь пожара увеличивается по линейной зависимости (рис. 1.6). $S_{\pi} = n \cdot a \cdot L$ (n - число направлений развития пожара, a - ширина площади пожара (здания, помещения)).

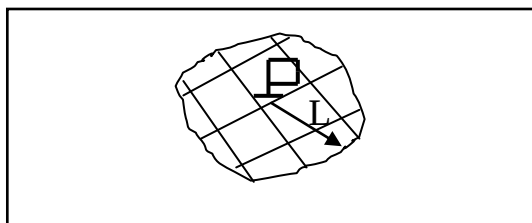


Рис. 1.1. Форма площади пожара при $k = 1$

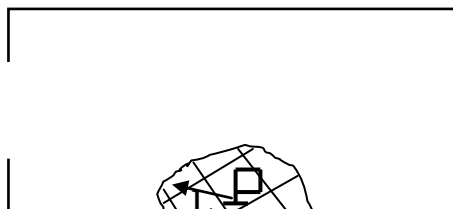


Рис. 1.2. Форма площади пожара при $k = 0,5$



Рис.1.3. Форма площади пожара при $k = 0,25$

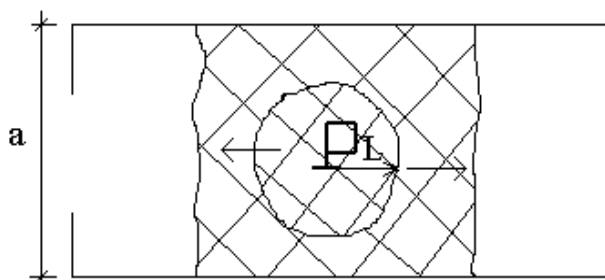


Рис. 1.4. Форма площади пожара при достижении пламенем ограждающих стен здания (границ горючей нагрузки)

2. Расчёт параметров тушения пожара

К параметрам тушения пожара относятся:

- площадь тушения S_T , m^2 ;
- требуемая $I_{тр}$ и фактическая интенсивность подачи огнетушащих веществ I_ϕ , $л/с \cdot m^2$;
- требуемый $Q_{тр}$ и фактический Q_ϕ расход огнетушащих веществ, $л/с$;
- требуемый $q_{уд}^{тр}$ и фактический $q_{уд}^\phi$ удельный расход огнетушащих веществ, $л/м^2$;
- число направлений ввода приборов тушения, шт;
- скорость тушения площади пожара V_T , $m^2/мин$; продолжительность ликвидации горения, $\Delta\tau_T$, мин.

Для прекращения распространения огня по фронту пожара следует подавать огнетушащие вещества с определенной интенсивностью I . При этом должно выполняться неравенство

$$I_\phi > I_T; \quad (2.1)$$

$$I_\phi = \frac{Q_\phi}{S_T}; \quad (2.2)$$

Значения требуемой (нормативной) интенсивность приведены в Приложении 4 или НПБ 201-96.

Для реализации условия (2.1) необходимо, чтобы фактический расход огнетушащих веществ из введённых для ликвидации горения стволов превышал расчётное (требуемое на тушение) значение расхода, т.е.

$$Q_\phi > Q_{тр}; \quad (2.3)$$

Фактический расход определяется по формуле

$$Q_\phi = \sum_{i=1}^m n_i \cdot q_{ствi}; \quad (2.4)$$

где: n_i - число i -х стволов; $q_{ствi}$ - расход с i -го ствола (характеристики приведены в Приложении 5); m - число типов стволов.

Требуемый расход равен произведению площади тушения на требуемую интенсивность:

$$Q_{тр} = S_T \cdot I_{тр} \quad (2.5)$$

Для достижения условий локализации также необходимо, чтобы число боевых позиций ствольщиков соответствовало требуемому, т.е., расстояние между ними должно быть расчётным.

Площадь тушения - это часть площади (или вся площадь) пожара в направлении распространения огня, на которую реально может быть подано огнетушащее вещество. В общем случае площадь тушения (рис.2.1) можно определить по формуле

$$S_T = \Phi_n \cdot h_T; \quad (2.6)$$

где: Φ_n - линейный параметр пожара, со стороны которого возможна подача огнетушащего вещества (фронт), м; h_T - глубина тушения стволов (для ручных $h_T = 5$ м; для лафетных $h_T = 10$ м; для мониторов и водяных пушек $h_T = 15$ м).

При определении S_T для круговой формы развития пожара (рис. 2.2) необходимо учитывать изменение длины окружности от внешней границы пожара к очагу горения. Поэтому для круговой формы

$$S_T = k \cdot \pi \cdot L_n^2 - k \cdot \pi \cdot (L_n - h_T)^2, \text{ или } S_T = k \cdot P_n \cdot h_T - k \cdot \pi \cdot h_T^2; \quad (2.7)$$

где: k - коэффициент, учитывающий угол в направлении развития пожара. Если подача огнетушащих веществ осуществляется по всему периметру пожара (рис.2.3), то площадь тушения определяется по формуле

$$S_T = S_n - \pi \cdot (L_n - h_T)^2; \quad (2.8)$$

Периметр тушения определяется, исходя из величины периметра пожара, числа направлений введения стволов и глубины тушения этими стволами.

Если для тушения пожара используются ручные и лафетные стволы, то для определения площади тушения необходимо разбить фронт (или периметр) пожара на участки, на которых работают ручные или лафетные стволы. При этом необходимо учитывать фактический периметр тушения стволом

$$P_T^{\phi} = \frac{q_{\text{ств}}}{I_n \cdot h_T}; \quad (2.9)$$

Площадь тушения будет определяться как сумма площадей тушения для участков, на которых, соответственно, работают ручные и лафетные стволы

$$S_T = S_{T.p} + S_{T.л}; \quad (2.10)$$

где: $S_{T.p}$ и $S_{T.л}$ - площади тушения для ручных и лафетных стволов, определяются в зависимости от формы площади пожара, направлений его развития и введения стволов по формулам (2.4), (2.5), (2.6), (2.8).

Для ликвидации горения на участке площади пожара ΔS_n при соблюдении условия (2.1) необходимо подать определённое количество огнетушащего вещества $\Delta W_{\text{отв}}$. Необходимое для прекращения горения количество огнетушащего вещества, подаваемое на единицу площади пожара, называется удельным расходом

$$q_{\text{уд}} = \frac{\Delta W_{\text{отв}}}{\Delta S_n}; \quad (2.11)$$

Умножим числитель и знаменатель в формуле (2.11) на время прекращения горения $\Delta \tau$

$$q_{\text{уд}} = \frac{\Delta W_{\text{отв}} \cdot \Delta \tau}{\Delta S_n \cdot \Delta \tau}; \quad (2.12)$$

С учётом того, что $I = \frac{\Delta W_{\text{отв}}}{\Delta S_n \cdot \Delta \tau}$, формулу (2.11) можно представить в виде

$$q_{\text{уд}} = I \cdot \Delta \tau; \quad (2.13)$$

Фактический удельный расход показывает, сколько огнетушащего вещества было подано за все время ликвидации горения на единицу площади пожара:

$$q_{\text{уд}}^{\phi} = \frac{W_{\text{отв}}}{S_n^{\text{лок}}}; \quad (2.14)$$

где: $S_n^{\text{лок}}$ - площадь пожара на момент локализации, м^2 ; $W_{\text{отв}}$ - количество огнетушащего вещества, поданное для ликвидации горения;

$$W_{\text{отв}} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \tau_{pi}; \quad (2.15)$$

где: τ_{pi} - время работы i -го ствола; n - число стволов.

Динамика уменьшения площади пожара с момента его локализации до ликвидации характеризуется скоростью тушения пожара

$$V_T = \frac{S_{n2} - S_{n1}}{\tau_2 - \tau_1} \text{ или } V_T = \frac{\Delta S_{\text{п}}}{\Delta \tau}; \quad (2.16)$$

где: S_{n1} - площадь пожара на момент времени τ_1 ; S_{n2} - площадь пожара на момент времени τ_2 ; $\Delta S_{\text{п}}$ - уменьшение площади пожара за время $\Delta \tau$.

Если числитель и знаменатель в формуле (2.16) умножить на необходимую для прекращения горения интенсивность подачи огнетушащих веществ, то формула определения скорости тушения примет вид:

$$V_T = \frac{\Delta S_{\text{п}} \cdot I_{\text{н}}}{\Delta \tau \cdot I_{\text{н}}}; \quad (2.17)$$

$$\text{или } V_T = \frac{Q_{\text{н}}}{q_{\text{уд}}}; \quad (2.18)$$

Продолжительность ликвидации горения - это временной промежуток от момента введения первого ствола на тушение до полного прекращения горения. Продолжительность ликвидации горения складывается из двух характерных временных интервалов - продолжительности локализации пожара ($\Delta \tau_{\text{лок}}$) и продолжительности ликвидации пожара ($\Delta \tau_{\text{лик}}$).

Продолжительность локализации пожара - временной промежуток от момента введения первого ствола до наступления момента локализации пожара.

Продолжительность ликвидации пожара - временной промежуток от локализации пожара до момента полного прекращения горения.

Если задаться условием, при котором скорость тушения пожара - величина неизменная ($V_T = \text{const}$), то время ликвидации пожара можно будет определить по формуле

$$\Delta \tau_{\text{лик}} = \frac{S_{\text{п}}^{\text{лок}}}{V_T}; \quad (2.19)$$

$$\text{или } \Delta \tau_{\text{лик}} = \frac{S_{\text{п}}^{\text{лок}} \cdot q_{\text{уд}}}{Q_{\text{н}}}; \quad (2.20)$$

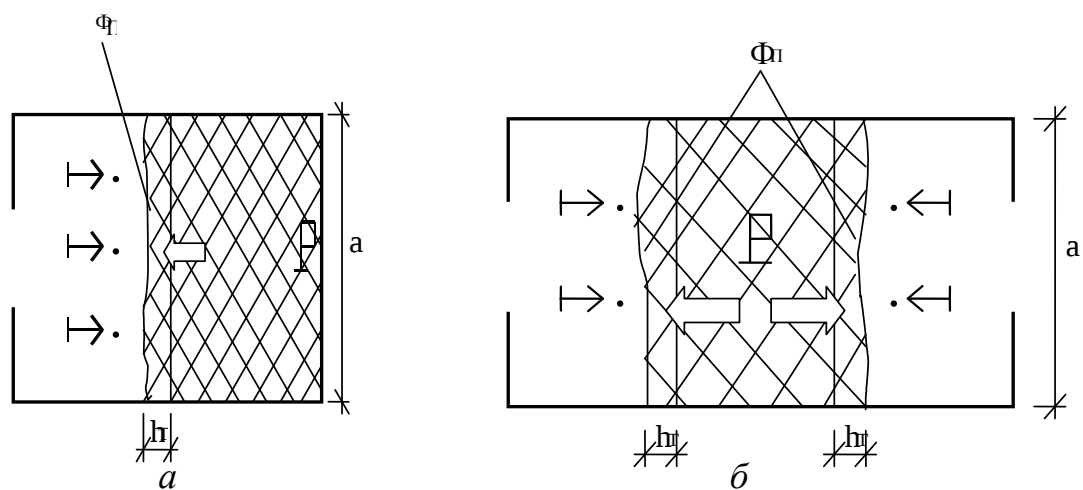


Рис. 2.1. Схема определения площади тушения при прямоугольной форме развития пожара: а) с одного направления; б) с двух направлений.

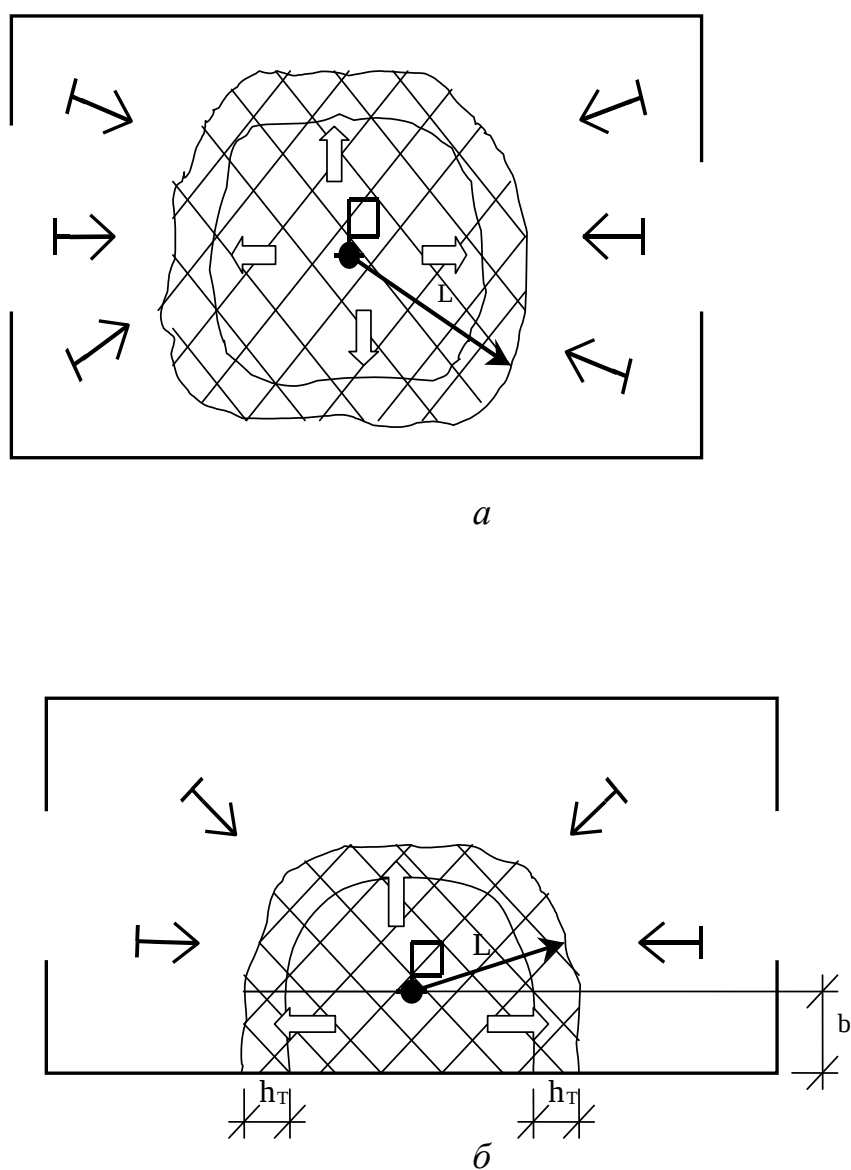


Рис.2.2. Схема площади тушения пожара: а) при круговой форме его развития, б) при смешанной форме (круговая и прямоугольная).

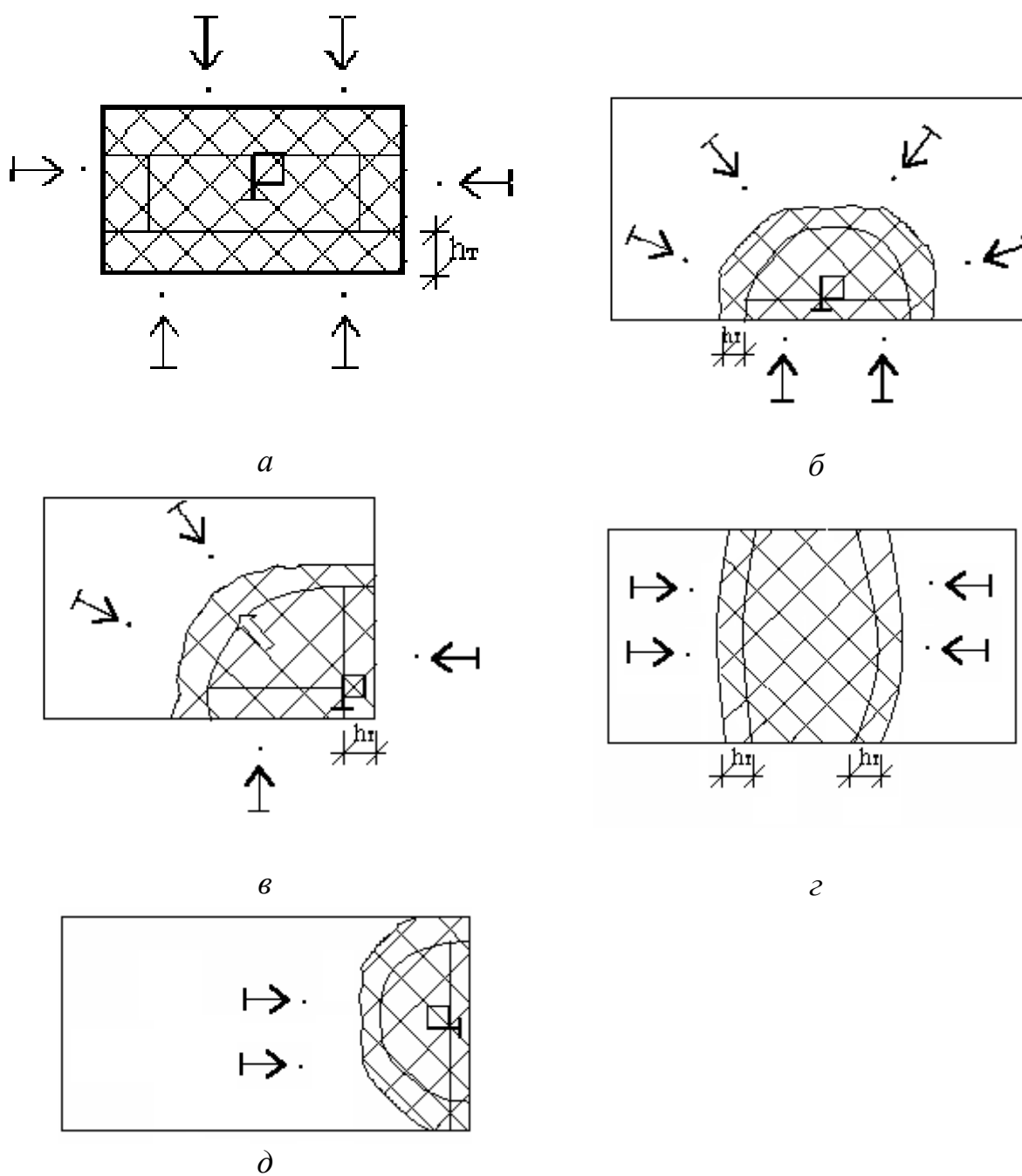


Рис. 2.3. Схема площади тушения пожара при подаче огнетушащих веществ по направлениям: *a*) $n = 4$; *б*) $n = 3$; *в*) $n = 2$; *г*) $n = 2$; *д*) $n = 1$.