

УДК 614.843.4

В.А. Карпенко, проф., канд. техн. наук., И.В. Севриков, доц., канд. техн. наук., А.В. Цуканов, проф., д-р. техн. наук

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г.Севастополь, Украина, 99053

root@sevgtu.sebastopol.ua

ТЕХНИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ИХ СТРУКТУР

Рассмотрены основные условия технической эффективности эргатических систем и приведены их выражения. Выполнена оптимизация условий эффективности по нормативным показателям.

Украина занимает одно из первых мест среди стран мира по аварийности и травматизму. Недопустимо высок травматизм с летальным (смертельным) исходом на объектах повышенной опасности отраслей: угольной, энергетической, строительной, сельскохозяйственной, транспортной.

Национальной программой охраны труда Украины на период 2000... 2005 годы предусмотрен ряд мер научного и практического характера по снижению уровня аварийности и травматизма. На последнем внеочередном заседании Национального совета по вопросам безопасности жизнедеятельности 17.10.2002 г. рассмотрены пути совершенствования государственной политики и, в первую очередь, ее эффективности по снижению уровня производственного и бытового травматизма.

Содержание данной статьи согласуется с государственной политикой Украины и Программой охраны труда в области безопасности жизнедеятельности работающих, населения и охраны окружающей природной среды.

Известно, что наиболее эффективной защитой объектов повышенной опасности является защита с помощью автоматических эргатических систем и специальных средств. В настоящее время один и тот же объект можно защищать различными по типу эргатическими системами или системой одного типа, но с различной ее структурой. Это предполагает необходимость оптимизации структур эргатических систем. Кроме того, объекты повышенной опасности налагают ограничения на функциональные параметры эргатических систем. В настоящее время известные методы оптимизации структур управления эти ограничения не учитывают, что обуславливает необходимость дальнейших исследований по восполнению данного пробела.

Наибольшие успехи в автоматической защите объектов повышенной опасности достигнуты в области пожарной защиты. Однако при построении автоматических установок пожаротушения (АУП) оптимизация их

структур при разработке проектировании не выполняется из-за отсутствия освоенных методов, учитывающих логику решения оптимизационных задач с ограничениями. Поэтому на практике используются справочники и другие нормативные материалы [1; 2; 3] известных специалистов в области пожарной защиты А.Н.Баратова, В.П.Иванникова, П.П.Клюс, Л.К.Мазура и др.

Для оптимизации структуры эргатической системы необходимо использовать интегральный критерий в виде целевой функции [4]. Аргументами целевой функции должны являться обобщенные показатели. Для эргатических систем такими показателями могут быть составляющие эффективности: техническая, человека-оператора и экономическая.

Техническая эффективность эргатической системы контроля и защиты объекта повышенной опасности определяется функциональными возможностями технической части системы. Поскольку назначение эргатических систем зависит от характера защищаемых объектов, то показатели технической эффективности их различны. Но в любом случае для каждого вида систем они определяются по основным их эксплуатационным характеристикам, обеспечивающим достижение цели.

Описать техническую эффективность различных по назначению эргатических систем одними и теми же выражениями ввиду их большого разнообразия не удастся. Поэтому для каждого вида систем должны быть свои выражения. Однако можно дать общий подход к описанию технической эффективности, ее основных условий и приемов оптимизации.

Первое условие эффективного действия любой эргатической системы определяется масштабным фактором. Под ним понимается то, что защищаемые площадь F , объем V или количество N единиц объекта равны или меньше отмеченных показателей, обеспечиваемых возможностями данной системы ($F_{об}$, $V_{об}$, $N_{об}$)

$$F_{об} \geq K_M V ; \quad V_{об} \geq K_M V ; \quad N_{об} \geq K_M N , \quad (1)$$

где K_M - масштабный коэффициент запаса учитывающий возможность обслуживания конкретного объекта. В большинстве случаев $K_M = 1 \dots 2$.

Второе условие эффективного действия эргатической системы определяется силовым (количественным) фактором. Под ним понимается то, что сила (усилие) $P_{об}$, количество (расход) вещества $Q_{об}$, интенсивность действия $I_{об}$ производимые системой, равны или больше их требуемых значений ($P_{тр}$, $Q_{тр}$, $I_{тр}$)

$$P_{об} \geq K_C P_{тр} ; \quad Q_{об} \geq K_C Q_{тр} ; \quad I_{об} \geq K_C I_{тр} , \quad (2)$$

где K_C - силовой коэффициент запаса, учитывающий возможность системы (принимается $K_C = 1 \dots 2,5$).

Третье условие определяется временным фактором. Под ним понимается время действия (продолжительность) эргатической системы τ_0 , которое равно, а также больше требуемого времени $\tau_{тр}$, или инертность

системы $\tau_{ин}$ меньше требуемой $\tau_{ин.тр}$ для предупреждения и устранения аварийной ситуации

$$\tau_{\partial} \geq K_{\epsilon} \tau_{TP}; \quad \tau_{ин} \geq \tau_{ин.тр} / K_{\epsilon}, \quad (3)$$

где K_{ϵ} - временной коэффициент запаса системы (ориентировочно принимается $K_{\epsilon} = 1 \dots 1,5$).

Чтобы эргатическая система эффективно функционировала необходимо одновременное выполнение всех трех условий. Для эффективного достижения цели защиты объекта условия (1)-(3) должны быть оптимизированы по определяющим (нормативным параметрам). Это может быть выполнено для конкретного вида эргатических систем, например, автоматических установок пожаротушения.

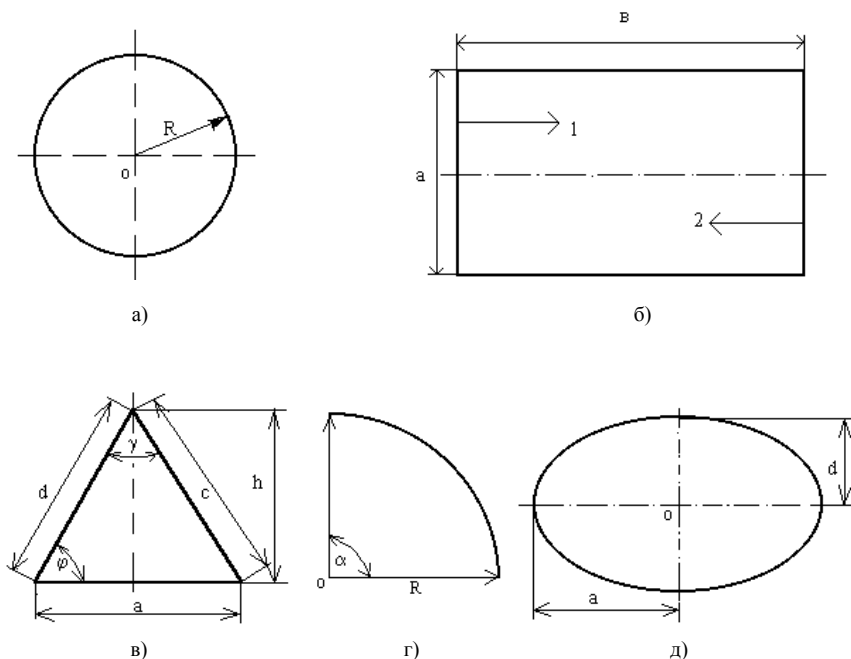


Рисунок 1 - Схема форм развития пожаров: а) круговая; б) прямоугольная; в)треугольная; г) секторная; д) эллипсовидная

Уточним показатели первого условия. Под площадями понимается: площадь пожара $F = F_n$ и площадь, обслуживаемая огнетушащим веществом с помощью установки $F_{об}$. Площадь пожара - это горизонтальная или вертикальная проекция горящих поверхностей зданий, сооружений, их частей и других объектов на поверхность земли, пола или вертикальную по-

верхность. По аналогии под площадью обслуживания $F_{об}$ понимаются соответствующие проекции поверхностей, подвергаемые обработке огнетушащим веществом. Площадь пожара во времени увеличивается, но к моменту полного тушения становится максимально предельной. Потому при проектировании и эксплуатации автоматических установок пожаротушения (АУП) они должны рассчитываться на этот предельный случай как наиболее жесткий. Форма развития пожара может быть различной в зависимости от места возникновения загорания, объемнопланировочных решений защищаемого объекта и других факторов. Наиболее распространенными являются пять основных форм (рисунок 1): круговая, прямоугольная, секторная, треугольная, эллипсовидная.

Площадь пожара при круговой форме определяется как

$$F_n = \pi R_n^2 = \pi (V_n \tau)^2, \quad (4)$$

где R_n - радиус круга; V_n - линейная скорость распространения пожара (пламени); τ - время распространения фронта пожара (пламени).

Площадь пожара при прямоугольной форме находится из выражения

$$F_n = a\epsilon = a n V_n \tau, \quad (5)$$

где a - размер пожара по ширине; ϵ - размер пожара по длине; n - число направлений развития пожара в соответствующей проекции.

При различной V_n в направлениях 1 и 2 по параметру ϵ получаем:

$$F_n = a\tau(V_{n1} + V_{n2}).$$

Площадь пожара при треугольной форме находится из выражений:

$$\begin{aligned} F_n &= 0,5ah = 0,5a(V_n \tau); \\ F_n &= 0,5a\epsilon \sin \varphi = 0,5a \sin \varphi (V_n \tau); \\ F_n &= 0,5a\epsilon \sin \gamma = 0,5a \sin \gamma (V_n \tau). \end{aligned} \quad (7)$$

Площадь пожара при секторной форме находится по формуле

$$F_n = 0,5\alpha R_n^2 = 0,5\alpha (V_n \tau)^2, \quad (8)$$

где α - угол при вершине кругового сектора.

Площадь пожара при эллипсовидной форме определяется следующим образом:

- при одном направлении

$$F_n = \pi a\epsilon = \pi a V_n \tau = \pi \epsilon V_n \tau; \quad (9)$$

- при нескольких направлениях

$$F_n = \pi n a V_n \tau = \pi n \epsilon V_n \tau. \quad (10)$$

Зная динамику развития пожара во времени, можно определить необходимые и достаточные площадь или объем обслуживаемые установкой пожаротушения. Если приравнять на основании формулы (1) обслуживаемую площадь $F_{об}$ к площади пожара F_n из выражений (4)-(9) и

оптимизировать выражения по переменной времени τ , так как другие величины являются постоянными, включая и линейную скорость распространения пламени для конкретных условиях пожара, то получим формулы критического времени $\tau_{кр}$, под которым понимается время, в течение которого фронт пламени распространяется до ближайшей границы площади, обслуживаемой огнетушащим веществом:

- для круговой формы

$$\tau_{кр} = \frac{\sqrt{F_{об}}}{V_n \sqrt{\pi K_M}} = \frac{R_{об}}{V_n \sqrt{K_M}}; \quad (11)$$

- для прямоугольной формы

$$\tau_{кр} = \frac{F_{об}}{naV_n K_M}; \quad (12)$$

при различных V_n в направлениях по показателю ϕ

$$\tau_{кр} = \frac{F_{об}}{a(V_{n1} + V_{n2}) K_M}; \quad (13)$$

- для треугольной формы

$$\begin{aligned} \tau_{кр} &= \frac{F_{об}}{0,5aV_n K_M}, \\ \tau_{кр} &= \frac{F_{об}}{0,5a \sin \phi V_n K_M}, \\ \tau_{кр} &= \frac{F_{об}}{0,5a \sin \gamma V_n K_M}; \end{aligned} \quad (14)$$

- для секторной формы

$$\tau_{кр} = \frac{\sqrt{F_{об}}}{V_n \sqrt{0,5\alpha K_M}}; \quad (15)$$

- для эллипсовидной формы:

при одном направлении

$$\tau_{кр} = \frac{F_{об}}{\pi a V_n K_M} = \frac{F_{об}}{\pi b V_n K_M}, \quad (16)$$

при нескольких направлениях

$$\tau_{кр} = \frac{F_{об}}{\pi a n V_n K_M} = \frac{F_{об}}{\pi n b V_n K_M}. \quad (17)$$

Рассмотрим второе условие эффективного тушения пожара по количеству (расходу) огнетушащего вещества (1). При этом выделим характерные огнетушащие вещества, установки, их использующие, и воспользуемся нормативными параметрами [1-3]. Обычно выделяют три вида расхода:

требуемый (расчетный), фактический, общий. В нашем случае интерес представляют требуемый и общий расходы.

Требуемый расход - это весовое или объемное количество огнетушащего вещества $Q_{тр}$ [л/с, кг/с, м³/с], подаваемое в единицу времени на величину соответствующего параметра (площадь, объем).

Общий расход - это количество огнетушащего вещества, определяемое по требуемому расходу, нормированному времени тушения пожара и запасу вещества.

Представим выражение расходов огнетушащих веществ.

1. Вода - спринклерные и дренчерные установки.

Требуемый расход определяется из соотношения

$$Q_{тр.в} = \mathfrak{Z}_{н.в} F_n, \quad (18)$$

где $\mathfrak{Z}_{н.в}$ - нормируемая поверхностная интенсивность подачи воды, л/(м²с); F_n - площадь пожара, м² (определяется по формулам (4)-(10).

Общее количество воды [л], подаваемое АУП, согласно (1) и (18)

$$Q_{н.в} = 60 \mathfrak{Z}_{н.в} F_n \tau_{н.в} K_{с.в}, \quad (19)$$

где $\mathfrak{Z}_{н.в}$ - нормированное время тушения водой, мин; $K_{с.в}$ - коэффициент запаса (принимается проектировщиком).

2. Пена, пена с хладоном - спринклерные, дренчерные установки, установки локального действия.

Требуемый расход воздушно-механической пены по раствору пенообразователя [л/с] при поверхностном тушении пожара находятся как

$$Q_{тр.п} = \mathfrak{Z}_{н.п} F_n, \quad (20)$$

где $\mathfrak{Z}_{н.п}$ - нормированная интенсивность подачи пенообразователя, л/(м²с).

Общее количество пены по расходу пенообразователя [л], подаваемое установкой, согласно (1) и (20) рассчитывается по формуле

$$Q_{н.п} = 60 \mathfrak{Z}_{н.п} F_n \tau_{н.п} K_{с.п}, \quad (21)$$

где $\tau_{н.п}$ - нормированное время тушения пенной, мин; $K_{с.п}$ - коэффициент запаса (принимается проектировщиком).

Требуемый расход пены [м³/мин] при объемном тушении находится как

$$Q_{тр.п} = \frac{V_n K_{с.п}}{\tau_{н.п}} = \frac{F_n H_n K_{с.п}}{\tau_{н.п}}, \quad (22)$$

где V_n - объем горящего объекта (помещения), м³; F_n - площадь пожара (помещения), м²; H_n - высота объекта (помещения), м.

Общее количество пены (м³), подаваемое установкой при объемном тушении

$$Q_{н.п} = Q_{тр.п} \tau_{н.п}. \quad (23)$$

3. Инертные газы, галоидоуглеводороды - установки газового, комбинированного, импульсного тушения.

Требуемый расход газа [кг/мин] определяется следующим образом: по удельному количеству

$$Q_{тр.г}^{уд.} = \frac{Q_{н.г} V_n K_{с.г.}}{\tau_{н.г.}} = \frac{Q_{н.г} F_n H_n K_{с.г.}}{\tau_{н.г.}}, \quad (24)$$

по огнетушащей концентрации

$$Q_{тр.г}^{кц} = \frac{F_n H_n C \gamma K_{с.г.}}{100 \tau_{н.г.}}. \quad (25)$$

Общее количество газа [кг], подаваемого АУП в помещение (объем) для тушения

$$Q_{н.г} = Q_{н.г} V_n K_{с.г.} = Q_{н.г} F_n H_n K_{с.г.}. \quad (26)$$

В (24)-(26) $Q_{н.г.}$ - нормированное удельное количество газа, кг/м³; $K_{с.г.}$ - коэффициент запаса по газу (принимается проектировщиком); $\tau_{н.г.}$ - нормированное время тушения газом, мин.; C - огнетушащая концентрация, % об.; γ - плотность огнетушащего средства.

4. Порошки - установки порошковые, сверхбыстродействующие системы импульсного тушения.

Общее количество порошка [кг] подаваемое установкой в помещение находится следующим образом:

при поверхностном тушении

$$Q_{н.пр.}^{пв.} = Q_{н.пр.}^{пв.} \cdot F_n^{1,5} \cdot K_{с.пр.}, \quad (27)$$

при объемном тушении

$$Q_{н.пр.}^{об.} = Q_{н.пр.}^{об.} \cdot V_n \cdot K_{с.пр.}, \quad (28)$$

где $Q_{н.пр.}^{пв.}$, $Q_{н.пр.}^{об.}$ - нормированные удельные количества порошка соответственно при поверхностном и объемном тушении, кг/м² и кг/м³; $K_{с.пр.}$ - коэффициент запаса порошка ($K = 1,2$ по аналогии с потерями порошка при использовании огнетушителей).

Требуемый расход порошка [кг/с] рассчитывается по формуле:

при поверхностном тушении

$$Q_{тр.пр}^{пв.} = \frac{Q_{н.пр.}^{пв.} \cdot F_n \cdot K_{с.пр.}}{\tau_{н.пр.}^{пв.}}, \quad (29)$$

при объемном тушении

$$Q_{тр.пр}^{об.} = \frac{Q_{н.пр.}^{об.} \cdot V_n \cdot K_{с.пр.}}{\tau_{н.пр.}^{об.}}, \quad (30)$$

где $\tau_{н.пр.}^{пв.}$, $\tau_{н.пр.}^{об.}$ - нормированное время тушения порошком соответственно при поверхностном и объемном тушении.

Третье временное условие (3) эффективного тушения очага с помощью АУП по фактору критического времени имеет вид

$$\tau_{кр} = \tau_{n,z} \cdot K_6, \quad (31)$$

где $\tau_{n,z}$ - время прогрессивного горения при свободном (без тушения) распространении пламени от места возгорания до границы площади, обслуживаемой огнетушащим веществом. Оно вычисляется по выражению

$$\tau_{n,z} = \frac{L}{n \cdot V_n}, \quad (32)$$

где L - длина лимитирующего параметра по прямой от места возгорания до границы площади, обслуживаемой огнетушащим веществом; V_n - средняя скорость распространения пламени; n - число направлений распространения пламени.

С учетом отмеченного выражение времени действия АУП при тушении имеет вид

$$\tau_0 = \frac{L}{n \cdot V_n} \cdot K_6 + 1,1\tau_{n,m}, \quad (33)$$

где $\tau_{n,m}$ - нормированное время тушения пожара, под которым понимается чистое время тушения.

Таким образом, условия эффективного тушения пожара (1)-(3) выражены через показатели технической эффективности автоматических установок пожаротушения, оптимизированной по нормативным параметрам: интенсивности $\mathcal{S}_n$, расходу (количеству) огнетушащего вещества Q_n и времени тушения $\tau_{n,m}$.

ВЫВОДЫ

1. Впервые предложен методологический подход к решению оптимизационных задач построения структур эргатических систем защиты объектов повышенной опасности по обобщенному критерию - эргатической эффективности, являющемуся составным аргументом интегральной целевой функции.

2. Подлежат формализации и дальнейшему исследованию другие аргументы целевой функции: экономическая и человека-оператора (эргономическая) в эргатической системе.

Библиографический список

1. Баратов А.Н. Справочник и нормы тушения. Рекомендации / А.Н.Баратов. — М.: Изд-во ВНИИПО, 1985. — 246 с.
2. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность: Справочник / Под ред. А.Н.Баратова. — М.: Химия, 1987. — 270 с.
3. Справочник по тушению пожаров / В.П.Иванников, П.П.Клюс, Л.К.Мазур. — К.: Изд-во МВД УССР, 1975. — 230 с.

4. Севриков В.В. Надежность и эффективность автоматических установок пожаротушения / В.В. Севриков, В.А. Карпенко, И.В. Севриков. — М.: Машиностроение, 1985. — 105 с.

Поступила в редакцию 13.12.2002 г.