

ПРОЦЕДУРА СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ЗАДАЧИ ОБОСНОВАНИЯ СОСТАВА КОМПЛЕКСОВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Л.Е. Мистров, доктор технических наук, доцент.

Центральный филиал ГОУ ВПО Российская академия правосудия.

О.В. Литвинов.

Федеральная служба пожарной безопасности Воронежской области

Предложена аналитическая процедура структурно-параметрического синтеза слабоформализуемой задачи обоснования оптимального состава комплексов индивидуальной пожарной безопасности по критерию «эффективность–стоимость» для обеспечения эффективной защиты различного типа элементарных объектов, пожарных и техники пожаротушения. Процедура разработана на основе методов оптимального распределения ресурсов в двухуровневых нелинейных задачах, погрупповой оптимизации, максимального элемента, аппроксимации нелинейной целевой функции полиномом второй степени с использованием принципов базовости и универсальности формирования состава.

Ключевые слова: пожарная безопасность, система пожарной безопасности, эффективность, синтез, анализ, декомпозиция, оптимизация, ресурс

THE PROCEDURE STRUCTURED-PARAMETRIC SYNTHESSES OF THE PROBLEM OF THE MOTIVATION OF THE COMPOSITION COMPLEX INDIVIDUAL FIREMAN TO SAFETY

L.E. Mistrov. Central branch GOU VPO Russian academy of the justice.

O.V. Litvinov. Federal service fireman to safety Voronezhskoy area

It is offered analytical procedure structured-parametric syntheses semi structured problems of the motivation of the optimum composition complex individual fireman to safety on criterion «efficiency–cost» for provision of efficient protection of the different type elementary object, fireman and technology пожаротушения. Procedure is designed on base of the methods of the optimum distribution resource in two-level nonlinear problem, погрупповой to optimization, maximum element, approximations to nonlinear target function by multinomial second degree with use principle base and versatility of the shaping the composition.

Key words: fireman safety, system fireman to safety, efficiency, syntheses, analysis, decomposition, optimization, resource

В практике реализации эффективного применения систем пожарной безопасности (СПБ) при реализации исполнительной (обеспечения пожаротушения объектов) и защитной (обеспечения жизнедеятельности пожарных и различного типа технических средств пожаротушения) функций актуальной является задача обоснования к ней основных тактико-технических требований (ОТТТ) для решения основных задач пожарной безопасности (ПБ) различного типа объектов за счет оптимального распределения ограниченных ресурсов средств управления, получения информации и исполнения.

В соответствии с общей процедурой обоснования ОТТТ к СПБ траектория синтеза определяет алгоритм последовательного итерационного распределения выделенного ресурса

элементов, уровня систем ПБ в составе отделений, караулов и частей для решения взаимосвязанных частных оптимизационных задач:

– обоснования комплексов и комплекта индивидуальной ПБ (КИПБ, КМИПБ) элементарных объектов, исполнительных (пожарных) и обеспечивающих (различного типа техники пожаротушения) элементов от воздействия различных классов (подклассов) пожаров применительно к условиям типовых ситуаций (уровень формирования КИПБ систем уровня отделений пожарной безопасности (ОПБ) – 3 уровень);

– обоснования комплексов групповой ПБ (КГПБ) и комплекта индивидуальной и групповой ПБ (КМИПБ, КМГПБ) элементов площадных объектов, исполнительных и обеспечивающих элементов (ИЭ, ОЭ) в групповых действиях (ГД) ОПБ применительно к условиям типовых эпизодов (уровень формирования ОТТТ к КГПБ систем уровня караулов ПБ (КПБ) – 2 уровень);

– обоснования комплексов объектовой ПБ (КОПБ) и комплекта индивидуальной, групповой и объектовой ПБ (КМИПБ, КМГПБ, КМОПБ) пространственно-распределенных объектов и ИЭ в ГД СПБ применительно к условиям типовых сценариев (уровень ОТТТ к КОПБ уровня СПБ – 1 уровень).

Исходными для решения данных задач являются множества условно-оптимальных (относительно ограничений) вариантов КИПБ, КГПБ и КОПБ, обоснование элементов которых проводится на уровне технического синтеза средств исполнения (ПБ), добывания информации и управления применительно к условиям типовых дуэлей и состояний.

Решение задач обоснования КМИПБ, КМГПБ и КМОПБ осуществляется отдельно при выполнении СПБ исполнительных и защитной функций. В качестве целевых функций на уровне СПБ используется зависимость коэффициента технико-экономической целесообразности (ТЭЦ) ($K_{ТЭЦ}^1$ и $K_{ТЭЦ}^2$) от вариантов её состава при обеспечении действий пожаротушения объектов и безопасности ИЭ (ОЭ) системы. Рассмотрим конкретные процедуры решения данных задач применительно к оптимизации состава КИПБ.

Процедура оптимизации состава комплексов индивидуальной пожарной безопасности при реализации исполнительной функции

Разработка процедуры производится в предположении заданных:

1) составе сил ОПБ: количестве ИЭ и ОЭ, в качестве которых возможно рассмотрение различного типа элементов применения (ЭП), переоснащения (ЭО), транспортировки (ЭТ) и управления (ЭУ) ($N_{ИЭ}, N_{ЭП}, N_{ЭО}, N_{ЭТ}, N_{ЭУ}$), которые используются для обеспечения применения КИПБ; количестве решаемых КИПБ задач или элементарных объектов пожаротушения m , $m = 1, \dots, M$ типов; комплекте ИЭ на различного типа используемых ОЭ; наряде ИЭ (n_m) для пожарного воздействия m типа элементов объекта;

2) типе и составе элементов объектов в зоне действия ОПБ: количестве назначаемых для тушения пожара элементов объекта; наряде ИЭ (основного ОПБ $M_{ИЭ}$, средств ПБ КИПБ элементов объекта $M_{ИЭ2}$ и различного типа привлекаемых подручных средств для осуществления тушения пожара $M_{ИЭ3}$); для пожарного воздействия на каждый тип, элемент объекта; вид горящих веществ на элементах, определяющих класс пожара на объекте;

3) множестве вариантов состава КИПБ, характеризующихся количеством разнотипных средств ПБ или исполнения (СИ) – $\|x_{ik}\|_{K_i}$; i – номер типа комплекса ($i=1, \dots, I$); k – номер типа СИ в составе i -го комплекса, $k=1, \dots, K_i$, с a_{yi}^* вариантом аппаратуры управления и их ТТХ. В общем случае СИ отличаются друг от друга ТТХ и способами применения; используются в сравнительно узком диапазоне условий применения (ДУП) – энергетических, пространственных, временных и др. Вследствие возникновения на элементах объекта различных классов пожара, то применение средств ПБ должно осуществляться, как правило,

во всех ДУП. Исходя из этого, в качестве СИ возможно для упрощения рассмотрения двух вариантов ДУП (при наличии более двух классов пожара подход остается тот же, только расширяется количество вариантов СИ) типов средств ПБ (тип № 1 и № 2).

Требуется выбрать оптимальные варианты оснащения и количественные составы КИПБ, при которых обеспечивается

$$Arg(\|\varpi_i^1\|, \|\varpi_{ik}^1\|) = \max_{\|\varpi_i^1\|, \|\varpi_{ik}^1(x_{ik})\|} [K_{ТЭЦ}^1(\|\varpi_i^1\|, \|\varpi_{ik}^1(x_{ik})\|)] \quad (1)$$

при

$$\varpi_i^1 = \frac{1}{N'_i C_{i1}} \left(\sum_{k=1}^{K_i} C_{ik} x_{ik} + C_i^y (a_{yi}^*) \right) = \sum_{k=1}^{K_i} \varpi_{ik}^1;$$

$$i=1, \dots, I; \quad \sum_{i=1}^I \varpi_i^1 = \varpi^1; \quad 0 \leq \varpi^1 \leq A_{зад}^1; \quad x_{ik} = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

Коэффициент ТЭЦ определяется отношением математического ожидания количества сохранных i -го типа элементов объекта за n количество последовательных действий КИПБ к математическому ожиданию количества сохранных элементов объектов, но без его использования:

$$K_{ТЭЦ}^1 = (1 - \varepsilon_{зб}^1 - \xi_{об}^1) \times \sum_{i=1}^I \frac{(1 - \varpi_i^1)(C'_{i1} N'_i + C''_{i1} N''_i) P_{li}(\varpi_i^1; \|x_{ik}\|; \varepsilon_{зб}^1; \xi_{об}^1)}{(C'_{i1} N'_i + C''_{i1} N''_i) P_{li}^o(0, 0, \beta_i^1, 0, 0)} =$$

$$= (1 - \varepsilon_{зб}^1 - \xi_{об}^1) \times \sum_{i=1}^I \gamma_{oi}^1 (1 - \varpi_i^1) P_{li}(\varpi_i^1; \|x_{ik}\|; \varepsilon_{зб}^1; \xi_{об}^1); \quad (3)$$

$$\gamma_{oi}^1 = 1 / P_{li}^o(\dots); \quad k = \overline{1, K}.$$

В выражениях (1) – (3) приняты следующие обозначения: $N'_i, N''_i, C'_{i1}, C''_{i1}$ – количество i -го типа элементов в составе объекта и соответствующие им стоимости одного элемента с учетом стоимости размещаемых на них материальных ценностей и без них соответственно; $\varepsilon_{зб}^1, \xi_{об}^1$ – относительная доля общей стоимости объекта ($\sum_{i=1}^I C'_{i1} N'_i$), выделяемой для создания КМГПБ и КМОПБ, соответственно; ϖ_i^1 – относительная доля стоимости i -го типа элементов объекта ($C'_{i1} N'_i + C''_{i1} N''_i$), выделяемая для создания КИПБ (или относительная доля стоимости КИПБ от стоимости элементарного объекта), определяется как суммарная стоимость средств исполнения, добывания информации и управления i -го типа КИПБ (2); $P_{li}(\dots), P_{li}^o(\dots)$ – вероятности сохранения i -го элементарного объекта в зависимости от варианта распределения стоимостного ресурса КИПБ ($\varpi_{ik}(x_{ik})$), а также вариантов совместного применения с КГПБ и КОПБ ($\varepsilon_{зб}^1, \xi_{об}^1$) при β_i^1 способах распространения пожара на объекте.

По условиям задачи выбора оптимального варианта оснащения КИПБ считается, что ТТХ СИ, их стоимостные характеристики ($\|C_{ik}\|$), варианты характеристик и состав КГПБ и КОПБ заданы ($\varepsilon_{зб}^1 = \varepsilon_{зб}^{1*}; \xi_{об}^1 = \xi_{об}^{1*}$). Это позволяет трансформировать задачу (1) с ограничениями (2) в совокупность задач вида

$$Arg(\varpi_i^1, \|\varpi_{ik}^1\|) = \max_{\varpi_i^1, \varpi_{ik}^1} [\lambda_i^1 (1 - \varpi_i^1) P_{li}(\varpi_i^1, \|\varpi_{ik}^1\|, \beta_i^1, \varepsilon_{\varepsilon\delta}^{1*}, \xi_{\varepsilon\delta}^{1*})]; \quad (4)$$

$$\lambda_i^1 = \gamma_{oi}^1 (1 - \varepsilon_{\varepsilon\delta}^1 - \xi_{\varepsilon\delta}^1); \quad i=1, \dots, I$$

при ограничениях: $\varpi_i^1 = \sum_{k=1}^K \varpi_{ik}^1(x_{ik}^1) + \varpi_i^1(a_{yi}^1); \quad 0 \leq \varpi_i^1 < 1; \quad x_{ik}^1 = 0, 1, 2, \dots; \quad k = \overline{1, K}.$ (5)

Такое представление задачи (1), (2) позволяет не только упорядочить процедуру решения сложной дискретной оптимизационной задачи, но и проводить исследования по обеспечению пожаротушения различных типов элементов объекта СИ КИПБ коллективами или отдельными специалистами. Это приводит к увеличению уровня неопределенности на этапе формирования облика КИПБ вследствие того, что сохраняется неопределенность относительно способов действий объектов при переходе от условий типовых эпизодов (уровень КПБ) к условиям типовых ситуаций (уровень ОПБ), для которых сохраняется неопределенность относительно использования ими различных типов ОЭ для обеспечения эффективных действий ОПБ.

Прежде чем осуществить переход к способам разрешения этих неопределенностей на уровне комплектов СПБ, остановимся на методах решения задачи (4), (5).

Задача (4), (5) относится к классу двухуровневых оптимизационных дискретных задач распределения разнородного ресурса ПБ с нелинейными ограничениями. Два уровня определяются условиями, при которых необходимо определить не только оптимальное распределение $\|\varpi_{ik}^*(x_{ik}^*)\|$ заданного значения ресурса ϖ_i^{1*} для $i=1, \dots, I$, но и оптимальное значение комплекта элементов ОПБ ($\|\varpi_i^{1opt}\|$).

Рассмотрим детально эти уровни с позиции формирования вида нелинейной целевой функции $P_{li}(\dots)$, для чего обратимся к физической интерпретации её выражения.

Как уже отмечалось, в условиях рассматриваемой задачи могут быть рассмотрены КИПБ, как минимум, двух типов (№ 1 и № 2), включающие в свой состав СИ, обладающие разноцелевым назначением по тушению различных классов (подклассов) пожара. При этом условно-оптимальные варианты состава КИПБ (раздельно для вариантов № 1 и № 2) заданы или определены при решении задач их синтеза на техническом уровне применительно к заданным вариантам массогабаритных и энергетических ограничений. В связи с этим целью синтеза КИПБ является получение оптимальных соотношений между различными составами (стоимостными ресурсами) СИ КИПБ в рамках ограниченных возможностей размещения их на элементах объекта и ИЭ ОПБ.

В соответствии с целями КИПБ № 1 и № 2 объектами воздействия могут являться элементы объекта, на которых осуществляется горение твердых веществ (пожар класса А) и легковоспламеняющихся и горючих жидкостей (пожар класса В). В связи с этим, вероятность тушения пожара элементов объекта КИПБ определяется системой случайных событий: условными вероятностями вскрытия на элементах объекта класса пожара (β_{i1}), распределения эффективных ИЭ (основного ОПБ на основе ИЭ A_1 , вспомогательных средств ПБ на основе ИЭ A_2 или A_3) по элементам пожаротушения (P_{pi}), прибытия назначенных ИЭ на определённый элемент (P_{ni}) и, наконец, вероятностями воздействия ИЭ (P_{ni}), или для КИПБ №1: $P_{i1}^1 = P_{i1}'' P_{p1}'' P_{n1}'' P_{ni1}^*$; для КИПБ № 2 – $P_{i1}^2 = P_{i1}'' P_{p1}' P_{n1}' P_{ni2}^*$. Тогда при заданном значении $\varpi_i^{1*} = \varpi_i^{11} + \varpi_i^{12}$ задача (4), (5) трансформируется в задачу вида

$$Arg(\varpi_i^{11}, \varpi_i^{12}) = \max_{\varpi_{ik}^1} [A_i^{1*} (1 - (1 - P_{i1}^2(\varpi_i^{12}))(1 - P_{i1}^{11}(\varpi_i^{11})))]; \quad (6)$$

$$P_i = P_i^* \text{ (комплекс } A_1 \text{ или } A_2 \text{ или } A_3); \quad A_i^* = \lambda_i^1(1 - \varpi_i^{1*});$$

при ограничениях: $\varpi_i^{1*} = \varpi_i^{11} + \varpi_i^{12}; \quad 0 \leq \varpi_i^1 < 1; \quad i = \overline{1, I};$

$$\varpi_i^{12} = \sum_{K_1=1}^{K_1^2} \varpi_{ik}^{12}(x_{iK_1}^2) + \varpi_i^y(a_{iy}^2); \quad \varpi_i^{11} = \sum_{K_2=1}^{K_2^1} \varpi_{ik}^{11}(x_{iK_2}^1) + \varpi_i^y(a_{iy}^1), \quad (7)$$

где $\varpi_{ik}^{12}(x_{iK_1}^2)$, $\varpi_{ik}^{11}(x_{iK_2}^1)$ – относительные стоимости в зависимости от количества СИ в составе КИПБ № 2 ($x_{iK_1}^2$) или № 1 ($x_{iK_2}^1$) в k -м ($K_1 = \overline{1, \dots, K_1^2}; K_2 = \overline{1, \dots, K_2^1}$) участке ДУП при реализации способа индивидуальной ПБ i -го типа элемента объекта; $\varpi_i^y(a_{iy}^2), \varpi_i^y(a_{iy}^1)$ – относительные стоимости СИ в КИПБ № 2 и № 1 при реализации соответственно способов индивидуальной ПБ i -го типа элементов объекта от воздействия пожара класса А и В.

Задачу (6), (7), приведенную к каноническому виду, в соответствии с [1] возможно решать с помощью метода максимального элемента [2]. Физико-техническая интерпретация метода с точки зрения анализа результата достаточно проста, поскольку в качестве элемента назначения выбирается вариант КИПБ, выраженный в дискретном количестве (или стоимости) разнотипных СИ варианта № 2 или № 1 в определенном участке ДУП. Метод максимального элемента применим к задачам распределения однородного ресурса с аддитивными (мультипликативными) видами целевых функций. Если ресурс неоднороден и разноэффективен, то может быть использована модификация метода максимального элемента, известная как метод двух функций [2]. Использование метода позволяет значительно ускорить сходимость решения за конечное число шагов до выполнения условия ограничения $\varpi_i^{1*} = \varpi_i^{12} + \varpi_i^{11} = l\Delta\varpi_i^1, i=1, \dots, I$, где $\Delta\varpi_i^1$ – относительная доля стоимости элемента назначения за l шагов ($l = 1, 2, \dots$).

Решением задачи (6), (7) являются условно-оптимальные составы ($\|x_{ik}^{1*}\|, k = \overline{1, K_i}$) КИПБ i элементов в условиях заданных ограничений (ϖ_i^{1*}), класса пожара и вариантов применения КГПБ и КОПБ. Вместе с тем необходимо выбрать для каждого i -го типа элемента объекта минимум один оптимальный с позиции ТЭЦ вариант оснащения СИ КИПБ (№ 2, № 1).

В связи с этим дальнейшее решение задачи целесообразно осуществлять, как показано в [2] при решении ряда задач, с использованием метода аппроксимации целевой функции полиномом второй степени. Необходимость использования метода аппроксимации обусловлена тем, что для расчета вероятности сохранения элементов объекта требуется использование сложных имитационных аналитико-стохастических моделей применения ОПБ. С помощью таких моделей, возможно, получить оценки для ограниченного количества модельных экспериментов (вариантов состава КИПБ). Поэтому для практических задач метод аппроксимации в предположении гладкой и выпуклой зависимости целевой функции является наиболее конструктивным.

Существо интерпретации данного метода к рассматриваемой задаче состоит в следующем. Для заданной последовательности вариантов состава КИПБ i элементов объекта ($\varpi_i^{1(1)}, \varpi_i^{1(2)}, \dots, \varpi_i^{1(L)}; l=1, \dots, L, i=1, \dots, I$), с использованием математической модели оценки эффективности применения КИПБ уровня ОПБ рассчитываются значения вероятности сохранения i -го элемента объекта – $P_{i1}^{(l)}(\varpi_i^{1(l)}), l=1, \dots, L$. Далее с использованием определенной последовательности значений $\|P_{i1}^{(l)}(\varpi_i^{1(l)})\|$ методом аппроксимации определяются коэффициенты полинома и записывается выражение целевых функций вида

$\hat{f}_i(\varpi_i^1) = \lambda_{2i}^1 (1 - \varpi_i^1) (a_o(\varpi_i^1)^2 + a_2 \varpi_i^1 + a_o)$ при ограничении $0 \leq \varpi_i^1 < 1$. Дифференцированием функции $f_i(\varpi_i^1)$ по $d\varpi_i^1$ и решением уравнения $df_i/d\varpi_i^1 = 0$ при $0 \leq \varpi_i^1 < 1$ определяется оптимальное значение для ϖ_i^{1*} и соответствующее ему распределение $\|\varpi_{ik}^{1*}(x_{ik}^{1*}), k = 1, \dots, K_i\|$.

Расчет вероятности $P_{i1}(\varpi_i^1)$ осуществляется с учетом стохастических факторов назначения различных видов ИЭ (ОЭ) для тушения пожара i элементов объекта. При этом должна рассматриваться средневзвешенная вероятность сохранения i -го элемента $P_{i1}(\varpi_i^1) = \sum_{r=1}^R v_{ri} P_{ri1}(\varpi_i^1)$, где v_{ri} – относительная доля i -го типа СИ, назначенных для пожаротушения r -ым типом ОПБ (комплекс ПБ A_1 или A_2 , или A_3) в типовом сценарии применения СПБ; $P_{ri1}(\varpi_i^1)$ – средняя вероятность сохранения i -го элемента при использовании одного r -го типа ОПБ в типовой ситуации, $0 \leq \sum_{r=1}^R v_{ri} < 1$, $r = \overline{1, R}$.

В этих условиях известным образом парируется неопределенность исходных данных о характеристиках и способах применения объектов пожаротушения. Более того, переход при оценке эффективности от условий типовых ситуаций (уровня ОПБ) к условиям эпизодов (уровня КПБ) и сценариев (уровня СПБ) обеспечивает возможность выбора варианта состава комплекта СИ соответственно для систем ПБ уровня отделений и караулов в задаче (1), (2). При этом в основе формирования исходных вариантов комплектов СИ стоит ТЭЦ и необходимость (с точки зрения заданного уровня оценки показателя эффективности) обеспечения ПБ любого из i элементов объекта в соответствии с тем комплектом, который обосновывается (ОПБ или КПБ) с учетом ресурсов расходуемых (одноразовых или многоразовых) СИ.

Рассмотрим аналогичную процедуру выбора состава средств КИПБ при обеспечении ОД и ГД исполнительных элементов СПБ.

Процедура оптимизации вариантов комплексов индивидуальной пожарной безопасности при реализации защитной функции

Задача ставится при заданных:

1) типе и составе элементов объектов и вероятностей применения ИЭ с использованием ОЭ или математическое ожидание числа применяемых ИЭ ОПБ для обеспечения ПБ элементов объекта;

2) классах пожара на элементах объекта в зоне действия ОПБ, характеризующихся зонами горения, теплового воздействия, задымления и горючего вещества, воздействующих на ИЭ и ОЭ ОПБ; $n_m, n_m = 1, 2, \dots$ наряды ИЭ на m элемент объект и способы проведения действий ОПБ;

3) множестве допустимых вариантов КИПБ ИЭ и средств технической ПБ (ПТБ) ОЭ и элементов управления ОПБ, характеризующихся количеством разнотипных СИ (№ 1 – КИПБ ИЭ, № 2 – ПТБ ОЭ и систем управления ОПБ) – $\|x_{k_2}^{21}, k=1, \dots, K^1\|$ и вариантами аппаратуры управления (a_y^*).

Требуется определить оптимальные варианты оснащения и составы КИПБ элементов ОПБ, при которых обеспечивается

$$Arg(\|\varpi_m^2, \|\varpi_{mk}^2(x_{mk}^2), k = 1, K^m\|) = \max_{\|\varpi_m^2, \|\varpi_{mk}^2\|} [K_{ТЭЦ}^2(\|\varpi_m^2, \|\varpi_{mk}^2(x_{mk}^2)\|)] \quad (8)$$

при ограничениях:

$$\varpi_m^2 = \frac{1}{C_{1ИЭ}^*} \left(\sum_{k=1}^{K^m} C_{mk} + C_m^y(a_y^*) \right) = \sum_{k=1}^{K^i} \varpi_{mk}^2; \quad \sum_{m=1}^M \varpi_i^2 = \varpi^2; \quad 0 \leq \varpi^2 < 1; \quad x_{mk} = 0, 1, 2, \dots (9)$$

Коэффициент ТЭЦ, являющийся отношением стоимости предотвращенных потерь ИЭ ОПБ (математическое ожидание количества сохранных в работоспособном состоянии ИЭ при тушении пожара) к стоимости сохранных ИЭ без применения КИПБ, можно определить выражением

$$K_{ТЭЦ}^2 = (1 - \varepsilon_{зб}^2 - \xi_{об}^2) \sum_{m=1}^M \frac{(1 - \varpi_m^2) C_{1ИЭ} N_m n_m P_{1m}(\varpi_m^2, \|\varpi_{mk}^2(x_{mk}^2)\|, \varepsilon_{зб}^2, \xi_{об}^2)}{C_{1ИЭ} N_m n_m P_{1m}^o(0, 0, \beta_m^2, 0, 0)} = \quad (10)$$

$$= (1 - \varepsilon_{зб}^2 - \xi_{об}^2) \times \sum_{m=1}^M \gamma_{om}^2 (1 - \varpi_m^2) P_{1m}(\varpi_m^2, \|\varpi_{mk}^2(x_{mk}^2)\|, \varepsilon_{зб}^2, \xi_{об}^2);$$

$$\gamma_{om}^2 = 1 / P_{1m}(0, 0, \beta_m^2, 0, 0); \quad k = \overline{1, K^m}.$$

В выражениях (8), (9) и (10) приняты следующие обозначения: N_m, n_m – соответственно количество $m, m=1, \dots, M$ задач по пожарному воздействию на элементы объекта и наряды ИЭ ОПБ для их выполнения; $\varepsilon_{зб}^2, \xi_{об}^2$ – относительная доля стоимости применяемых ИЭ и техники ПБ ($\sum_{m=1}^M C_{1ИЭ} N_m n_m$), выделяемая для создания КМГПБ и КМОПБ в целях обеспечения безопасности ГД ОПБ при решении M задач; ϖ_m^2 – относительная доля стоимости m -го, $m=1, \dots, M$ наряда ИЭ ОПБ ($C_{1ИЭ} n_m$), выделяемая для создания КИПБ (или относительная стоимость КИПБ от общей стоимости применяемых ИЭ); определяется как суммарная стоимость средств исполнения, добывания информации и управления, входящих в состав комплексов индивидуальной ПБ ИЭ и ОЭ ОПБ; $P_{1m}(\dots), P_{1m}^o(\dots)$ – вероятности воздействия ИЭ по m -го типа элементов объекта в зависимости от их расположения в зонах распространения пожара (β_m^2) и вариантов распределения стоимостных ресурсов для обеспечения ПБ ИЭ и ОЭ $\|\varpi_{mk}\|$, а также от вариантов совместного применения с КИПБ КГПБ и КОПБ ($\varepsilon_{зб}^2, \xi_{об}^2$).

По условиям задачи выбора варианта оснащения КИПБ ИЭ и ОЭ от воздействия в типовых зонах распространения пожара объекта считается, что ТТХ СИ, их стоимостные характеристики $\|C_{mk}, k=1, \dots, K^m\|, m=1, \dots, M$ (в частном случае возможно, что $C_{mk} = C_{lk}$, при $m \neq l; m=1, \dots, M; l=1, \dots, M$ для любого $k=1, \dots, K^m$) заданы.

Из условия задачи (8), (9) и (10) следует, что постановка задачи является инвариантной постановке задачи (1), (2) и (3). В связи с этим методический подход для её решения является одинаковым, отличие лишь в следующем.

При заданных вариантах применения КГПБ и КОПБ ($\varepsilon_{зб}^2 = \varepsilon_{зб}^{2*}, \xi_{об}^2 = \xi_{об}^{2*}$) задача (8), (9) трансформируется в совокупность частных задач оптимизации применительно к каждой m типовой задаче, которая характеризуется типом объекта воздействия, нарядом ИЭ (n_m) и составом типовых зон пожарного воздействия на ИЭ и ОЭ ОПБ вида:

$$Arg(\|\varpi_{mk}^{2*}(x_{mk}^{2*})\|) = \max_{x_{mk}^2} [\lambda_m^2 (1 - \varpi_m^2) P_{1m}(\|x_{mk}^2\|, \beta_m^1)], \quad m = \overline{1, M}; \quad (11)$$

$$\lambda_m^2 = (1 - \varepsilon_{\sigma}^{2*} - \xi_{\sigma}^{2*}) \gamma_{\sigma m}^2; \quad \varpi_m^2 = \frac{1}{C_{1ИЭ} N_m} \left(\sum_{k=1}^{K_m} C_{km} x_{km}^2 + C_{km}^y (a_y^*) \right); \quad m = \overline{1, M},$$

при ограничении: $0 \leq \varpi_m^2 < 1; \quad x_{km} = 0, 1, 2, \dots, \quad k = \overline{1, K_m}.$ (12)

Исходными данными при решении задачи (11), (12) является ограниченное количество вариантов КИПБ: № 1 для ПБ ИЭ и № 2 – комплекс технических средств (способов) ТПБ ОЭ и систем управления ОПБ. Исходные варианты, обоснованные на техническом аспекте синтеза КИПБ № 1 и № 2, отличаются составом и ТТХ их СИ в зависимости от заданных массогабаритных, энергетических и временных ограничений при их применении в интересах обеспечения ПБ ИЭ и ОЭ. В связи с этим при решении задачи (11), (12) сначала определяются множества вариантов совместного применения комплексов № 1 и № 2, которые являются целесообразными с позиции технико-экономического критерия (обеспечивающие значение функции $(1 - \varpi_b^2) P_{1m}(\dots) = K_{ГЭЦ}^{ИПБ} > 1$). Затем из этого множества вариантов определяется оптимальный вариант.

Формирование состава КИПБ осуществляется с использованием принципов универсальности и базовости, физическая интерпретация которых при решении задачи (11), (12) состоит в следующем.

Принцип универсальности состоит в выборе такого состава КИПБ и способа применения, при котором обеспечивается гарантированная (в среднем) эффективность его применения по множеству $m, m=1, \dots, M$, типовых задач. В этом случае выбирается один единственный вариант КИПБ, которым оснащаются элементы объекта и ИЭ и который в процессе пожарных действий не меняется. Тогда оптимальный вариант определяется при решении задачи (8), (9) применительно к условиям типовых эпизодов или сценариев, в которых рассматривается достаточно полная совокупность типовых задач.

Базовый принцип формирования КИПБ состоит в обеспечении достижения максимальной эффективности при решении m типовой задачи на основе технических мер полной или частичной унификации и стандартизации, позволяющих достаточно быстро на этапе планирования и организации выполнения задач изменять состав комплекса (или программы его функционирования) в соответствии с особенностями и вариантами применения элементов объекта для решения каждой типовой задачи. В этом случае формируется базовый комплект КИПБ, основная часть которого используется ОПБ, а другая часть используется для замены его элементов в зависимости от предстоящей задачи (в том числе и при его переназначении). Тогда оптимальный вариант определяется в два этапа: сначала при решении задачи (11), (12) определяется оптимальный вариант применительно к условиям каждой m типовой задачи, затем из этих условно-оптимальных вариантов формируются базовый комплект и КИПБ в целом, оптимальный состав которых определяется при решении задачи (8), (9) применительно к множеству $m, m=1, \dots, M$, типовых задач.

В качестве метода обоснования оптимального состава КИПБ используется метод максимального элемента в сочетании с методом аппроксимации целевой функции полиномами аналогично алгоритмам решения задач оснащения элементов объектов КИПБ.

Таким образом, предложенная процедура структурно-параметрического синтеза позволяет в аналитическом виде решить слабоформализуемую задачу обоснования оптимального состава КИПБ для обеспечения ПБ элементов объектов и обеспечивающих тушения на них пожара ОПБ в различных условиях внешней среды.

Литература

1. Мистров Л.Е. Синтез конфликтно-устойчивых функциональных радиоэлектронных систем / Информационные технологии и системы: сб. науч. тр. Воронеж: ВГТА. 2002. № 5. С. 136–144.

2. Берзин Е.А. Оптимальное распределение ресурсов и элементы синтеза систем. М.: Сов. радио, 1974.