

управления безопасностью сложных систем» (ПУБСС-2019) (18 декабря 2019 г. Москва). – М.: ИПУ РАН, 2019. – С. 372-377.

4. *Kirsanov A.A., Tatarinov V.V., Prus Y.V.* Decision support software for chemical accident elimination management // AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2019. – V. 2195. № 1. – P. 020076.

Мистров Л.Е., Головченко Е.В.

Основы моделирования мероприятий информационной безопасности для обеспечения конфликтной устойчивости функционирования социально-экономических организаций

Аннотация: Предлагаются основы математического моделирования мероприятий информационной безопасности для обеспечения конфликтной устойчивости авиационных социально-экономических организаций на основе критерия «эффективность-стоимость». Основы базируются на методах теорий многоуровневых иерархических систем, теории игр, гомотопическом методе исследования нелинейных оптимизационных задач с экстремальными переменными и методе Гаусса-Зейделя.

Ключевые слова: социально-экономическая организация, конкуренция, конфликтная устойчивость, многошаговая биматричная игра, математическое моделирование

Авиационные перевозки являются одним из самых развивающихся отраслей экономики. Функционирование авиационных предприятий гражданской авиации характеризуется широкой географией, значительным спектром предоставляемых услуг и одновременно жесткими требованиями по обеспечению авиационной безопасности. Все это существенно ужесточается в условиях конкуренции. В связи с чем, проблемным вопросом является необходимость обеспечения конфликтной устойчивости (КУ) функционирования таких авиационных социально-экономических организаций (СЭО), каковыми и являются авиационные предприятия (АП). При этом особую актуальность приобретают вопросы математического моделирования технико-экономического обоснования мероприятий информационной

безопасности (ИБ), направленных на обеспечение КУ функционирования СЭО.

В общем случае АП осуществляет свою деятельность в условиях конкурентного взаимодействия с большим количеством СЭО. Обозначим авиационную СЭО множеством $\{A\}$, а все взаимодействующие с ней СЭО – $\{B\}$. Предположим, что КУ функционирования АП достигается реализацией совокупности мероприятий ИБ. В результате чего процесс конкурентного взаимодействия сторон $\{A\}$ и $\{B\}$ можно представить в виде многошаговой биматричной игры на выживание с ненулевой суммой:

$$\max_{\{p_i\}} \min_{\{g_j\}} \left\{ \frac{\sum_{i,j} a_{ij} p_i g_j}{\sum_{i,j} b_{ij} p_i g_j} \right\} = \min_{\{g_j\}} \max_{\{p_i\}} \left\{ \frac{\sum_{i,j} a_{ij} p_i g_j}{\sum_{i,j} b_{ij} p_i g_j} \right\}, \quad (1)$$

где i – возможные стратегии стороны $\{A\}$, содержащие определенную совокупность мероприятий индивидуальной (БИ), групповой (БГ) и общей (ОБ) ИБ; j – возможные стратегии стороны $\{B\}$; $\|a_{ij}\|$, $\|b_{ij}\|$ – платежные матрицы сторон $\{A\}$ и $\{B\}$, элементы которых характеризуют их выигрыш (проигрыш) и равны: $a_{ij} = \mathcal{E}_{ij}^A / C_i^A$, $b_{ij} = \mathcal{E}_{ij}^B / C_j^B$; \mathcal{E}_{ij}^A , \mathcal{E}_{ij}^B – эффективность функционирования сторон; C_i^A , C_j^B – стоимость реализации i -ых и j -ых мероприятий (стратегий в терминах теории игр) ИБ сторон $\{A\}$ и $\{B\}$, соответственно. Результатом конфликтного взаимодействия является средняя (в смысле математического ожидания) цена n -шаговой конкурентной борьбы (игры) C^* в условиях оптимальной (равновесной) или рациональной (смешанной) стратегии сторон (соответственно $R_{i^*j^*}$ или \bar{R}^*).

Следует отметить, что поскольку биматричные игры решаются приближенным методом последовательного исключения «доминируемых» стратегий, сводя их к игре типа «2х2» и выбору из них одной (или двух) стратегий стороны $\{A\}$ – $i_1^* = 1$ (или $i_2^* = 2$), то конечное решение является условным, которое подлежит последующему анализу с использованием дополнительных критериев.

Инвариантное моделирование оценки эффективности используется и при решении задач нижних уровней СЭО с использованием методов Гаусса-Зейделя и гомотопического метода решения оптимизационных нелинейных многоуровневых задач с экстремальными ограничениями [1]: на уровне функциональной СЭО – обоснование целесообразного варианта комплекса мероприятий БО, БГ и БИ для каждой i -ой стратегии стороны $\{A\}$ (или, что то же самое для каждого j -го варианта стороны $\{B\}$); на уровне составных ОТС – комплекса ИБ, включающих мероприятия БО, БГ и БИ; на уровне отдельных технических систем – комплекса ИБ, включающих мероприятия БГ и БИ; на уровне комплексов – комплекса ИБ, включающих мероприятия БИ.

Для определенности рассмотрим одну из инвариантных задач математического моделирования технико-экономического обоснования КУ СЭО для обоснования оптимального варианта мероприятий ИБ с позиции критерия «эффективность-стоимость» в условиях ограниченного использования обеспечивающего ресурса, то есть ограничений. Данная задача решается с использованием теоретико-игрового метода [1], но применительно к частным внешним условиям игры сторон $\{A\}$ и $\{B\}$ и к каждому i -му начальному варианту (далее для упрощения записи индекс i будем опускать).

В рамках теоретико-игрового метода необходимо определение масштабных численных оценок, которые в относительных величинах позволяют сформировать значения элементов платежных матриц $\|a_{ij}\|$, $\|b_{ij}\|$ конкурирующих сторон. Для оценки оптимальности (целесообразности) генерируемых вариантов мероприятий ИБ введем понятие коэффициента технико-экономической целесообразности любого r -го, $r = \overline{1, R}$ варианта мероприятий ИБ применительно к любому j -му $j = \overline{1, J}$ варианту мероприятий ИБ стороны $\{B\}$ в виде:

$$K_r^A = \frac{C_0^A (1 - \alpha_r) \sum_{i=1}^I \gamma_i^r \left(\min_{j \in \{J\}} [\bar{P}_{rj}^i(\alpha_r)] \right)}{C_0^A \sum_{i=1}^I \gamma_i^{r=0} \left(\min_{j \in \{J\}} [\bar{P}_{rj}^i(\alpha_r = 0)] \right)}, \quad (2)$$

где C_0^A – суммарная стоимость элементов стороны $\{A\}$ ($i = \overline{1, I}$), обеспечиваемых мероприятиями БИ, БГ и БО, конкретная совокупность которых (вариант) определяется при решении данной задачи; $\alpha_r = C_r^A / C_0^A$ – относительная стоимость r -го варианта мероприятий ИБ; $\gamma_i^r = C_i^A / C_0^A$ – относительная стоимость совокупности элементов i -го типа, обеспечиваемых r -ым вариантом мероприятий ИБ; $\bar{P}_{rj}^i(\alpha_r)$ – математическое ожидание вероятности (среднее значение в серии испытаний) достижения целей r -го варианта мероприятий ИБ в отношении элементов i -го типа системы $\{A\}$ при j -ом воздействии системы $\{B\}$. Например, это может быть среднее количество элементов i -го типа, сохранивших свою эффективность функционирования; $\bar{P}_{rj}^i(\alpha_r = 0)$ – математическое ожидание вероятности сохранения эффективности функционирования элементов i -го типа системы $\{A\}$ при j -ом воздействии системы $\{B\}$ в отсутствие мероприятий ИБ (в этом случае относительная стоимость мероприятий ИБ равна нулю).

С учетом вышеизложенного, под коэффициентом технико-экономической целесообразности K_r^A понимается отношение стоимости элементов стороны $\{A\}$, сохранивших свою эффективность при реализации r -го варианта мероприятий ИБ в условиях конкурентных отношений со стороной $\{B\}$ к стоимости элементов стороны $\{A\}$ без применения r -го варианта.

При выборе оптимального варианта мероприятий ИБ используется, как правило, максиминный критерий вида [1]

$$\begin{aligned} \text{Arg } \alpha^* \rightarrow \max_{\{\alpha_r\}} \left(K_r^A = (1 - \alpha_r) \frac{1}{f_0} \sum_{i=1}^I \gamma_i^r \left(\min_{j \in \{J\}} \left(\bar{P}_{rj}^i(\alpha_r) \right) \right) \right), \\ f_0 = \sum_{i=1}^I \gamma_i^{r=0} \cdot \left(\min_{j \in \{J\}} \left(\bar{P}_{rj}^i(\alpha_r = 0) \right) \right), \quad \alpha_r = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3, \end{aligned} \quad (3)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – относительная стоимость r -го варианта мероприятий БИ, БГ, БО, отличающиеся целями, средствами, составом и способами применения. Их значения задаются (определяются на нижних уровнях) при следующих ограничениях:

$$P_r = \sum_{i=1}^I \gamma_i^r \cdot \left(\min_{j \in \{J\}} \left(\bar{P}_{rj}^i(\alpha_r) \right) \right) \geq P_{зад} K_r^A \geq 1; \quad C_0^A = const; \quad (4)$$

$$0 \leq \alpha_r < 1 \text{ для всех } r \in \{R\}.$$

Из выражения (3) следует, что поиск оптимального варианта мероприятий ИБ представляется в виде максиминной дискретной стохастической оптимизационной задачи. Для ее решения возможно применить последовательный поэтапный итерационный алгоритм, включающий следующие этапы.

На первом этапе формируют конкретные варианты мероприятий ИБ, используя полученные решения на нижних уровнях, относительно возможных (условных) оптимизационных решений при обосновании целей, средств, составов и способов применения мероприятий БИ, БГ, БО, то есть условно-оптимальных значений множества $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$ на основе их сочетаний. Все сформированные варианты нумеруются по возрастанию номеров r и для всех вариантов рассчитываются значения относительной их стоимости α_r . Варианты, для которых значения α_r не удовлетворяют ограничительным условиям (4) отбрасываются.

На втором этапе для каждого r -го варианта мероприятий ИБ рассчитываются значения $\bar{P}_{rj}^i(\alpha_r)$. При этом используются математические модели процессов функционирования СЭО, способные учитывать все стратегии $j = \overline{1, J}$ поведения стороны $\{B\}$. С использованием методов кусочно-линейной аппроксимации и вычисленным дискретным значениям формируется непрерывная функция $\tilde{P}(\alpha) \approx P(\alpha)$.

На третьем этапе осуществляется определение оптимального значения α^* из условия: $\max_{\alpha} \left(\tilde{K}'(\alpha) = K(\alpha) \cdot f_0 = (1 - \alpha) \cdot \tilde{P}(\alpha) \right)$ при ограничениях $0 \leq \alpha_r < 1$ и $f_0 < \tilde{P}(\alpha) \leq 1$ и определяются оптимальные значения $\tilde{K}(\alpha = \alpha^{opt})$ и $\tilde{P}(\alpha = \alpha^{opt})$. Далее осуществляется проверка условия $\tilde{P}(\alpha = \alpha^{opt}) \geq P_{зад}$. Если условие выполняется, то является достаточным исключить из дальнейшего рассмотрения все варианты, для которых $\alpha < \alpha^{opt}$ до значения α' , при котором $\tilde{P}(\alpha') \geq P(\alpha)$. В случае когда условия не выполняются, требуется проведение анализа дальнейших решений.

На четвертом этапе осуществляется этап поиска окончательного решения. Поскольку решается частная (по условию) задача на основе гомотопического метода исследования оптимизационных нелинейных задач, то для сужения области поиска оптимального решения осуществляется последующий переход от абсолютных значений критериальной функции $\alpha = \alpha^{opt}$ к поиску рационального решения по технико-экономическим показателям на основе принципа оптимальности Парето.

Решение оптимальности по Парето позволяет выделить и сузить область возможного компромисса на основе ослабления исходных требований к критерию «эффективность-стоимость» (в случае $\alpha^{opt} \neq \Delta\alpha^{\Pi}$), где $\Delta\alpha^{\Pi}$ есть некоторый заданный предел (например: 5% от $\tilde{P}(\alpha = \alpha^{opt})$) в условиях ($|\Delta\alpha^{\Pi}| \rightarrow 0$). Введение принципа оптимизации по Парето при обосновании рациональных (уже не оптимальных) вариантов является существенным, поскольку может значительно улучшить решение на вышестоящем уровне иерархии исследований, снизить требования к формируемым вариантам за счет совместного использования в их составе разнотипных мероприятий ИБ, а также приблизиться к модели (принципам предпочтительности) оптимальности заказчика.

В этом случае целесообразным вариантом мероприятий ИБ является тот, который обеспечивает минимальное значение ($\alpha^{opt} - \Delta\alpha^{\Pi}$), то есть стоимости. Следует отметить, что математические модели для решения оптимизационных задач нижних уровней рассматриваемых мероприятий могут быть поставлены и решены аналогичным образом.

Таким образом, предложенные основы математического моделирования мероприятий по ИБ позволяют обосновать по критерию «эффективность-стоимость» целесообразный вариант комплекса мероприятий для обеспечения КУ функционирования СЭО.

Литература:

1. Мистров Л.Е. Синтез конфликтно-устойчивых функциональных радиоэлектронных систем / Математическое моделирование информационных и технологических систем: Сборник научных трудов. – Воронеж: ВГТА, 2003. – Вып. №6. – С. 193-199.