DOI:

АРБИТРАЖНАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ РИСКАМИ ЗНАЧИМЫХ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Калашников А.О., Аникина Е.В.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Россия, г. Москва ул. Профсоюзная д.65

aokalash@ipu.ru, janet0584@mail.ru

Аннотация: В работе рассматривается один из методов эффективного распределения ограниченного ресурса для управления информационными рисками значимых объектов критической информационной инфраструктуры на основе теоретико-игровых моделей (арбитражных схем). *Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект 18-29-22042).*

Ключевые слова: значимый объект, критическая информационная инфраструктура, управление, информационные рисками, распределение ресурса, арбитражная схема, когнитивная игра.

Введение

Приоритетной целью государственной политики на современном этапе является переход на инновационный путь развития. Данный переход характеризуется интенсивным внедрением и использованием передовых информационных технологий в сферах экономики и финансов, промышленности и энергетики, транспорта и связи, государственного управления и национальной безопасности, науки и культуры, образования и здравоохранения и многих других.

Однако, широкое и повсеместное использование информационных технологий немыслимо без повышенного внимания к проблемам их собственной безопасности [1]. И в первую очередь это относится к вопросам обеспечения информационной безопасности объектов *критической информационной инфраструктуры Российской Федерации* (далее – КИИ РФ) и КИИ РФ в целом. О том, что важность указанной проблемы отчетливо осознается, в том числе, на уровне Президента и Правительства Российской Федерации, говорит и Федеральный закон от 26.07.2017 № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» [2].

В соответствии с [2] (статья 7) *категорирование* объекта КИИ РФ представляет собой установление соответствия объекта КИИ РФ критериям значимости, присвоение ему одной из категорий значимости и проверку сведений о результатах ее присвоения.

Категорирование объектов КИИ РФ осуществляется исходя из:

- *социальной значимости*, выражающейся в оценке возможного ущерба, причиняемого жизни или здоровью людей, возможности прекращения или нарушения функционирования объектов обеспечения жизнедеятельности населения, транспортной инфраструктуры, сетей связи, а также максимальном времени отсутствия доступа к государственной услуге для получателей такой услуги;
- *политической значимости*, выражающейся в оценке возможного причинения ущерба интересам Российской Федерации в вопросах внутренней и внешней политики;
- *экономической значимости*, выражающейся в оценке возможного причинения прямого и косвенного ущерба субъектам КИИ РФ и (или) бюджетам Российской Федерации;
- *экологической значимости*, выражающейся в оценке уровня воздействия на окружающую среду;
- значимости объекта КИИ РФ для обеспечения обороны страны, безопасности государства и правопорядка.

При этом устанавливаются три категории значимости объектов критической информационной инфраструктуры – первая, вторая и третья.

Для успешной реализации мероприятий по управлению рисками объектов КИИ РФ и КИИ РФ в целом необходимо решение целого ряда сложных научно-технических задач, из которых задача эффективного распределения ограниченных ресурсов на мероприятия по снижению информационных рисков, в том числе, в условиях той или иной неопределенности, является одной из ключевых.

Необходимо отметить, что актуальность указанной задачи проявляется, в частности, не только в развитии и совершенствовании традиционных методов и средств защиты информации, но и в появлении новых подходов к управлению рисками и безопасностью сложных систем.

В тоже время, проведенный анализ показывает, что за редким исключением эти новые подходы к решению проблем управления рисками объектов КИИ РФ и КИИ РФ в целом осуществляются исключительно с традиционных позиций, когда в качестве механизмов управления рассматривается набор *независимых*, автономных цепочек вида: *типовой риск – типовой сценарий – типовые ресурсы*. Данный подход предполагает, что события, в рамках которых реализуются типовые риски, происходят независимо друг от друга и, поскольку оценка вероятности указанных событий незначительна, то и вероятностью *одновременного* наступления нескольких таких событий можно пренебречь. Из данного допущения, в свою очередь, следует, что, поскольку в некоторый период времени реализуется только одно риск-образующее событие, то для его обнаружения, предупреждения и ликвидации его последствий может быть задействован единственный типовой сценарий и использован определенный этим сценарием набор типовых ресурсов.

К сожалению, в современных условиях, данный подход не может считаться удовлетворительным, поскольку, как показывает анализ, в последние несколько десятков лет наступление одних риск-образующих событий может провоцировать непосредственным или опосредованным образом наступление других риск-образующих событий, эти события, в свою очередь, могут спровоцировать наступление следующих риск-образующих событий и так далее. При этом мы не можем исключать возможности влияния последующих событий на исходные, как в сторону усиления, так и в сторону ослабления связанных с ними рисков.

Таким образом, в настоящее время для эффективного решения задач управления рисками и безопасностью сложных систем необходимо использование подходов, которые позволяют рассматривать риск-образующие события и связанные с ними риски не как «точки» в некотором фазовом пространстве, а как динамическую сеть, узлы которой оказывают на состояние друг на друга существенное влияние.

Необходимо отметить, однако, что использование подобных подходов требует обязательного учета возможных стратегий потенциального нарушителя (атакующий, *attacker*), собственных стратегий защитника (*defender*), а также ясного понимания возникающих при реализации тех и других стратегий угроз и рисков. Иными словами, защитнику необходимо уметь принимать эффективные решения в условиях конфликтного взаимодействия с атакующим. В тоже время, представляется достаточно очевидным, что добиться требуемой эффективности при принятии решений без использования определенного математического аппарата будет достаточно затруднительно. Учитывая изначальную конфликтность взаимодействия защитника и атакующего, представляется целесообразным рассмотреть возможность использования для указанных целей теоретико-игровых подходов, в частности, подхода с использованием *арбитражных схем*.

Конфликтное взаимодействие, при этом, может осуществляться в условиях полной и неполной определенности, вероятностной неопределенности, в условиях взаимного влияния элементов системы друг на друга, в условиях неантагонистического («игра с природой») или антагонистического («игра с нулевой суммой») противоборства и так далее. Ниже будут рассмотрены некоторые из указанных моделей управления информационными рисками для решения задач обеспечения безопасности сложных систем.

1 Общая модель

Рассмотрим сложную систему, состоящую множества элементов: $S = \{s_1, \dots, s_i, \dots, s_n\}$, $i \in N = \{1, \dots, n\}$. В рамках модели будем предполагать, что элементы $s_i \in S$, $i \in N$, системы S, вообще говоря, не являются *независимыми* и могут оказывать на *состояние* друг на друга определенное *воздействие*.

Предположим, что существует субъект, которого мы будем называть RM (менеджер риска, *risk manager*). Будем считать, что RM располагает некоторым объемом *ресурса* $X \geq 0$, который он может произвольным образом распределять между элементами системы S: $x = (x_1, \dots, x_n)$, $x_i \geq 0$, $i \in N$, $\sum_{i=1}^{n} x_i \leq X$.

Обозначим множество допустимых распределений RM ресурса X между элементами системы S: $\mathcal{X}(X) = \{x = (x_1, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n : x_i \geq 0, i \in N, \sum_{i=1}^{n} x_i \leq X\}$.

Поскольку элементы системы S не являются независимыми и могут оказывать на состояние друг на друга определенное воздействие в рамках модели под *локальным риском* будем понимать некоторую *локальную* характеристику *отдельного элемента* $s_i \in S$, $i \in N$, зависящую не только от количества ресурса $x_i \geq 0$, выделенного RM на данный элемент, но и от распределения ресурсов на остальные элементы системы S, то есть от вектора $x = (x_1, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n$. Аналогично, под *интегральным риском* будем понимать некоторую *интегральную* характеристику всей системы S в целом, также зависящую от вектора зависящую от $x = (x_1, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n$.

Определим для каждого элемента $s_i \in S, i \in N$, системы S функцию локального риска: $\rho_i(x)$: $\mathbb{R}^n \to \mathbb{R}^1$ и будем считать, что состояние системы S однозначно описывается *вектор-функцией риска*: $\big(\rho_1(x), \dots, \rho_n(x)\big)$. Аналогично, для системы S в целом определим функцию интегрального риска: $\rho(x) = \rho\big(\rho_1(x), \dots, \rho_n(x)\big)$.

Пусть $z = (z_1, \dots, z_n) \in \mathbb{R}^n$ – вектор, тогда будем писать, что: $z = (z_1, \dots, z_n) \geq 0$, если $z_i \geq 0$, $i \in N$.

В рамках модели далее будем предполагать, что функции локального риска $\rho_i(\cdot)$, $i \in N$, непрерывны, всюду дифференцируемы и обладают следующими свойствами:

C1 (неотрицательность риска): для любых $i \in N$, $x \geq 0$: $\rho_i(x) \geq 0$;

C2 (монотонность риска): для любых $i \in N$, $k \in N$, $\frac{\partial \rho_i(x)}{\partial x_k} < 0$;

C3 (ограниченность риска): для любых $i \in N$, $x \geq 0$: существует число $\rho_i^\infty > 0$ такое, что $\rho_i(x) > \rho_i^\infty$.

Таким образом, функции локального риска $\rho_i(\cdot)$, $i \in N$ представляют собой семейство неотрицательных, ограниченных и строго монотонных функций, убывающих по всем аргументам.

Модель управления рисками сложной системы можно задать следующим кортежем:

$$(1)\ \langle RN, X, S = \{s_i\}, \{\rho_i(\cdot)\}, \rho(\cdot), i \in N \rangle.$$

А цель RM формально может быть записана в виде:

$$(2)\ \inf_{x \in \mathcal{X}} \rho(x) = \inf_{x \in \mathcal{X}} \rho\big(\rho_1(x), \dots, \rho_n(x)\big).$$

При известных функциях локального риска $\rho_i(\cdot)$, $i \in N$, решение задачи (2) представляет собой поиск глобального минимума функции $\rho(x)$ в ограниченной области $x \in \mathcal{X}$ и может быть получено традиционными численными методами (см., например, [3]).

Предположим теперь, что конкретный вид функций локального риска $\rho_i(\cdot)$, $i \in N$ для любого элемента $s_i \in S$, $i \in N$, системы S нам *неизвестен*, что, как правило, и имеет место на практике (см., например, [4]), но при этом известно, что они удовлетворяют свойствам C1, C2 и C3. Очевидно, что в этом случае методы решения задачи (2) существенно усложняются.

2 Арбитражное решение

Для начала в рамках модели, представленной в разделе 2, рассмотрим случай, когда элементы $s_i \in S$, $i \in N$, системы S являются *независимыми* и не оказывают друг на друга никакого влияния. Подход к решению указанной задачи, когда конкретный вид функций локального риска неизвестен впервые был намечен, хотя и немного в другой постановке, в статье [5], а наиболее полно изложен в монографиях [1, 6].

В основе указанного подхода лежат следующие соображения (подробнее, см. [1, 6]).

Поскольку, конкретный вид функций локального риска нам не известен, то представляется целесообразным перейти от «глобальной» задачи минимизации интегрального риска (2) к «локальной» задаче *снижению максимума локальных рисков* $\rho_i(\cdot)$, $i \in N$:

$$(3)\ \inf_{x \in \mathcal{X}} \sup_{i \in N} \rho_i(x).$$

Решением задачи (3) будут «хорошие» распределения ресурса $\hat{x}(X) \in \mathcal{X}(X)$ такие, что: $\hat{x}(X) = \arg \inf_{x \in \mathcal{X}} \sup_{i \in N} \rho_i(x)$. Обозначим подмножество «хороших» распределений ресурса $\hat{\mathcal{X}}(X) \subseteq \mathcal{X}(X)$.

Для задачи (3) верно следующее утверждение «о выравнивании локальных рисков» (см. [1, 6]), которое мы приведем в обозначениях рассматриваемой выше модели:

Утверждение 1. Пусть $\rho_i(\cdot)$, $i \in N$ удовлетворяют свойствам C1, C2 и C3 и существует распределение ресурса $(\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n) \in \mathcal{X}(X)$ такое, что: $\sum_{i=1}^n \tilde{x}_i = X$ и $\rho_1(\tilde{x}_1) = \cdots = \rho_n(\tilde{x}_n) = c$, тогда $(\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n)$ – единственное решение задачи (3).

Предположим, что тем или иным способом RM стали известны текущие значения локальных рисков для каждого элемента $s_i \in S$, $i \in N$, системы S, до распределения на них каких-либо ресурсов. Обозначим указанные значения $\rho_i(0)$, $i \in N$ и упорядочим их по убыванию: $\rho_{(1)}(0) \geq \cdots \geq \rho_{(n)}(0)$. Откуда следует, что если целью RM является выравнивание локальных рисков, то для достижения указанной цели для разных элемента $s_i \in S$, $i \in N$, системы S, вообще говоря, придется затратить различный объем ресурсов, причем: если $\rho_{(i)}(0) \geq \rho_{(j)}(0)$, то должно выполняться $x_{(i)} \geq x_{(j)}$. В этом случае, значения $\tilde{\rho}_i = \rho_i(0)$ можно рассматривать, как своеобразные «*заявки*» элементов $s_i \in S$, $i \in N$, системы S на предоставление ресурса со стороны RM. Обозначим $\tilde{\rho} = (\tilde{\rho}_1, \dots, \tilde{\rho}_n)$ – вектор «заявок» элементов $s_i \in S$, $i \in N$, системы S на предоставление ресурса со стороны RM.

Предположим теперь, что сам ресурс X, которым располагает RM, представляет собой функцию от «заявок» элементов системы S такую, что $X = X(\tilde{\rho}_1, \dots, \tilde{\rho}_n)$ – симметрична, непрерывна, строго монотонна и $X(0, \dots, 0) = 0$. Указанные свойства являются вполне естественными и отражают следующие особенности поведения защитника: 1) не выделять ресурс без необходимости; 2) в случае возрастания рисков увеличивать объем выделяемого ресурса; 3) в отсутствии дополнительной информации считать все элементы системы S однородными (см. подробнее [1, 6]).

В [1, 6] был сформулирован и обоснован ряд «разумных», с точки зрения управления рисками, требований, которым должно удовлетворять «хорошее» распределение ресурсов.

Т1 (оптимальность по Парето): для любого $\hat{x}(X) \in \hat{\mathcal{X}}(X)$: $\sum_{i=1}^{n} \hat{x}_i(X) = X$.

Т2 (монотонность): для любых $X_1 > X_2 \geq 0$ и $\hat{x}(X) \in \hat{\mathcal{X}}(X)$: $\hat{x}(X_1) > \hat{x}(X_2)$, то есть $\hat{x}_i(X_1) \geq \hat{x}_i(X_2)$, $i \in N$ и существует $j \in N$ такое, что $\hat{x}_j(X_1) > \hat{x}_j(X_2)$.

Т3 (паритетность): для любого $\hat{x}(X) \in \hat{\mathcal{X}}(X)$: если $\rho_{(1)}(0) \geq \dots \geq \rho_{(n)}(0)$, то $\hat{x}_{(1)}(X) \geq \dots \geq \hat{x}_{(n)}(X)$.

В [1, 6] было показано, что подмножество «хороших» распределений ресурса $\hat{\mathcal{X}}(X) \subseteq \mathcal{X}(X)$, удовлетворяющих требованиям Т1, Т2 и Т3, не пусто, поскольку, в частности, указанным требованиям удовлетворяет равномерное распределение ресурса $\hat{e}(X) \in \hat{\mathcal{X}}(X)$: $\hat{e}_i(X) = X/_n$.

Приведенные предположения позволяют использовать для нахождения эффективного распределения ресурса теоретико-игровой подход на основе *арбитражной схемы, основанной на принципах стимуляции и неподавления* (подробнее см. [7, 8]): будем рассматривать элементы $s_i \in S$, $i \in N$, системы S в качестве «игроков» некоторой игры $\Gamma(\tilde{\rho})$, где $\tilde{\rho} = (\tilde{\rho}_1, \dots, \tilde{\rho}_n)$ – вектор «заявок» элементов системы S на предоставление ресурса со стороны RM, который выступает в роли своеобразного «*арбитра*».

Определим, доступный для распределения RM ресурс $X(\tilde{\rho}) = X(\tilde{\rho}_1, \dots, \tilde{\rho}_n)$ и множество допустимых распределений ресурса X между элементами системы S:

$$\boldsymbol{\mathcal{X}(\tilde{\rho}) = \{(x_1, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n : x_i \geq 0, i \in N, \textstyle\sum_{i=1}^{n} x_i \leq X(\tilde{\rho})\}}.$$

Обозначим $\hat{\mathcal{X}}(\tilde{\rho}) \subseteq \mathcal{X}(\tilde{\rho})$ – подмножество «хороших» распределений ресурса, удовлетворяющих требованиям Т1, Т2 и Т3.

Определение 1. Пусть $\tilde{\rho}_{(1)} \geq \dots \geq \tilde{\rho}_{(n)}$, тогда назовем распределение ресурса $\hat{\pi}(\tilde{\rho}) = \left(\hat{\pi}_{(1)}(\tilde{\rho}), \dots, \hat{\pi}_{(n)}(\tilde{\rho})\right)$ «максимально стимулирующим» (МС-решением) если:

$$1)\ \ \hat{\pi}(\tilde{\rho}) \in \hat{\mathcal{X}}(\tilde{\rho});$$

$$2)\ \ \hat{\pi}_{(1)}(\tilde{\rho}) = \sup_{\hat{x}(\tilde{\rho}) \in \hat{\mathcal{X}}(\tilde{\rho})} \hat{x}_{(1)}(\tilde{\rho});$$

$$\hat{\pi}_{(2)}(\tilde{\rho}) = \sup_{\hat{x}(\tilde{\rho}) \in \hat{\mathcal{X}}^{(1)}(\tilde{\rho})} \hat{x}_{(2)}(\tilde{\rho});$$

$$\dots$$

$$\hat{\pi}_{(n-1)}(\tilde{\rho})(\tilde{\rho}) = \sup_{\hat{x}(\tilde{\rho}) \in \hat{\mathcal{X}}^{(1)(2)\dots(n-2)}(\tilde{\rho})} \hat{x}_{(n-1)}(\tilde{\rho}),$$

где $\hat{\mathcal{X}}^{(1)(2)\dots(k)}(\tilde{\rho}) = \left\{\hat{x}(\tilde{\rho}) \in \hat{\mathcal{X}}(\tilde{\rho}) : \hat{x}_{(1)}(\tilde{\rho}) = \hat{\pi}_{(1)}(\tilde{\rho}), \hat{x}_{(2)}(\tilde{\rho}) = \hat{\pi}_{(2)}(\tilde{\rho}), \dots, \hat{x}_{(k)}(\tilde{\rho}) = \hat{\pi}_{(k)}(\tilde{\rho})\right\}$ и $k = 1,2, \dots, n-2$.

Таким образом, под МС-решением будем понимать такое распределение ресурса X между элементами системы S, при котором: во-первых, для него выполнены требования Т1, Т2 и Т3, а, во-вторых, на элемент с номером (1), с максимальной «заявкой», выделяется максимально возможное для номера (1), среди всех таких распределений, количество ресурса; на элемент с номером (2), со второй по значимости «заявкой», выделяется максимально возможное для номера (2), среди распределений у которых, количество ресурса для номера (1) уже зафиксировано и равно $\hat{\pi}_{(1)}(\tilde{\rho})$ и так далее.

Как следует из приведенного выше определения МС-решения, его существование отнюдь не является очевидным. Тем не менее, оказывается верным следующее утверждение [1, 5-8]:

Утверждение 2. Пусть $\tilde{\rho}_{(1)} \geq \dots \geq \tilde{\rho}_{(n)}$, тогда МС-решение $\hat{\pi}(\tilde{\rho}) = \left(\hat{\pi}_{(1)}(\tilde{\rho}), \dots, \hat{\pi}_{(n)}(\tilde{\rho})\right)$ существует и единственно.

Приведенное утверждение дает возможность в рамках решения задачи (3) организовать эффективное управление рисками сложной системы при котором сначала снижается максимальный риск, затем следующий по значимости и так далее. К сожалению, доказательство утверждения 2 не является конструктивным и не определяет МС-решение в аналитической форме. Тем не менее, для ряда частых случаев это может быть сделано, что и позволяет применить МС-решение на практике.

Предположим, что функция $X(\tilde{\rho})$ имеет вид: $X(\tilde{\rho}) = X(\tilde{\rho}_1 + \dots + \tilde{\rho}_n)$, то есть, зависит только от суммы «заявок» всех элементов $s_i \in S$, $i \in N$, системы S, что довольно часто встречается на практике, причем $\frac{\partial X(\tilde{\rho}_1 + \dots + \tilde{\rho}_n)}{\partial \tilde{\rho}_i} > 0$, для $i \in N$. Тогда для случаев, когда $X(\tilde{\rho})$ выпукла, вогнута или линейна оказываются верным следующие утверждения [1, 6]:

Утверждение 3. Пусть $\tilde{\rho}_{(1)} \geq \dots \geq \tilde{\rho}_{(n)}$ (для простоты, будем считать, что $\tilde{\rho}_1 \geq \dots \geq \tilde{\rho}_n$ и $X(\tilde{\rho})$ выпукла, то есть: $\frac{\partial^2 X(\tilde{\rho}_1 + \dots + \tilde{\rho}_n)}{\partial \tilde{\rho}_i^{\,2}} \geq 0$, для $i \in N$. Тогда МС-решение имеет вид:

$$\mu_n^+(\tilde{\rho}) = \frac{1}{n} X(n\tilde{\rho}_n);$$

$$\mu_k^+(\tilde{\rho}) = \frac{1}{k}\left(X(k\tilde{\rho}_k + \textstyle\sum_{i=k+1}^{n} \tilde{\rho}_i) - \sum_{i=k+1}^{n} \mu_i^+(\tilde{\rho})\right), k = 1,2, \dots, n-1.$$

Утверждение 4. Пусть $\tilde{\rho}_{(1)} \geq \dots \geq \tilde{\rho}_{(n)}$ (для простоты, будем считать, что $\tilde{\rho}_1 \geq \dots \geq \tilde{\rho}_n$) и $X(\tilde{\rho})$ вогнута, то есть: $\frac{\partial^2 X(\tilde{\rho}_1 + \dots + \tilde{\rho}_n)}{\partial \tilde{\rho}_i^{\,2}} \leq 0$, для $i \in N$. Тогда МС-решение имеет вид:

$$\mu_1^-(\tilde{\rho}) = \frac{1}{n} X(n\tilde{\rho}_1);$$

$$\mu_k^-(\tilde{\rho}) = \frac{1}{n-(k-1)} X\left(\textstyle\sum_{i=1}^{k-1} \tilde{\rho}_i + (n-(k-1))\tilde{\rho}_k\right) - \frac{1}{n-(k-1)} \sum_{i=1}^{k-1} \mu_i^-(\tilde{\rho}), k = 2, \dots, n.$$

Утверждение 5. Пусть $\tilde{\rho}_{(1)} \geq \dots \geq \tilde{\rho}_{(n)}$ (для простоты, будем считать, что $\tilde{\rho}_1 \geq \dots \geq \tilde{\rho}_n$) и $X(\tilde{\rho}) = \alpha(\sum_{i=1}^{n} \tilde{\rho}_i) + \beta$ (линейная функция), то есть: $\frac{\partial^2 X(\tilde{\rho}_1 + \dots + \tilde{\rho}_n)}{\partial \tilde{\rho}_i^{\,2}} \equiv 0$, для $i \in N$. Тогда МС-решение имеет вид: $\mu_k(\tilde{\rho}) = \alpha\tilde{\rho}_k$, $k = 1, \dots, n$.

Анализ приведенного МС-решения позволяет сделать вывод о том, что достоверная информация о значениях «заявок» элементов $s_i \in S$, $i \in N$, системы S на предоставление ресурса со стороны игрока RM: $\tilde{\rho}_i = \rho_i(0)$ является ключевой, для реализации указанного подхода, поскольку:

во-первых, дает возможность упорядочить элементы $s_i \in S$, $i \in N$, системы S с точки зрения их рискового потенциала и, тем самым, определить приоритеты в выделении им ресурса в соответствии с упорядоченным вектором «заявок» $\tilde{\rho}_{(1)} \geq \dots \geq \tilde{\rho}_{(n)}$;

во-вторых, дает возможность определить соответствующий объем ресурса $X(\tilde{\rho}) = X(\tilde{\rho}_1, \dots, \tilde{\rho}_n)$, как функции о указанных «заявок»;

в-третьих, если RM в качестве функции для вычисления объема ресурса выбирает $X(\tilde{\rho}) = X(\tilde{\rho}_1 + \dots + \tilde{\rho}_n)$, то в соответствии с утверждениями 4-6 появляется возможность непосредственно вычислить значения МС-решения.

Таким образом, если мы хотим для решения задачи (3) в рамках модели, представленной в разделе 2, использовать некоторый аналог МС-решения нам будет необходимо разработать метод, который позволит проводить не только оценку «заявок» элементов $s_i \in S$, $i \in N$, системы S на предоставление ресурса со стороны RM: $\tilde{\rho}_i = \rho_i(0)$, но и их ранжирование $\tilde{\rho}_{(1)} \geq \dots \geq \tilde{\rho}_{(n)}$ с учетом взаимного влияния друг на друга.

3 Когнитивная игра

Вернемся к модели, описанной в разделе 2, и рассмотрим ее более подробно. Итак, пусть имеется сложная система, состоящая из элементов: $S = \{s_1, \dots, s_i, \dots, s_n\}$, $i \in N$, которые могут оказывать друг на друга определенное воздействие, в том числе, в части передачи друг другу связанных с ними рисков. Указанное воздействие будем описывать взвешенным ориентированным графом $G(S, W)$, где S – множество узлов, которое совпадает с множеством элементов системы S, а $W \subseteq S \times S$ – множество направленных дуг $w_{ij} = (s_i, s_j) \in W$, $i \in N$, $j \in N$, которые отражают связи между элементами системы S. Предположим, что на $G(S, W)$ заданы две функции: $\rho: S \to \mathbb{R}^1$ и $\sigma: W \to \mathbb{R}^1$, где ρ_i, $i \in N$ – «вес» узлов (элементов системы S), а σ_{ij}, $i \in N$, $j \in N$ – «вес» дуг (взаимных влияний элементов системы S друг на друга). Матрица $\Sigma = \|\sigma_{ij}\|$ размера $n \times n$ отражает «интенсивность» влияния i-го элемента системы S на j-й элемент.

Будем считать, что взаимное влияние осуществляется в дискретные моменты времени и начальному состоянию системы соответствует нулевой момент времени и значения весов элементов системы S: $\rho_i(t=0)=\tilde{\rho}_i$. Тогда изменение значений весов элементов системы S в результате их взаимного влияния друг на друга будем описывать следующими выражениями:

$$(4)\ \rho_i(t+1)=\rho_i(t)+\sum_{k=1}^{n}\sigma_{ik}(\rho_i(t)-\rho_i(t-1)), i\in N, t=0,1,2,\dots, \rho_i(t=0)=\tilde{\rho}_i.$$

Система (4) однозначно описывает динамику изменений значений «весов» элементов системы S в результате их взаимного влияния друг на друга в случае, когда у нас отсутствует информация о конкретном виде функций локального риска $\rho_i(\cdot)$, $i\in N$ для любого элемента $s_i\in S$, $i\in N$, системы S, но при этом известно, что они удовлетворяют свойствам С1, С2 и С3 (см. описание соответствующей модели в разделе 2).

Обозначим $\Delta\rho_i(t)=\rho_i(t)-\rho_i(t-1)$ – «скорость» изменения значений «весов» элементов системы S (в терминологии [9, 10] – «импульс»), тогда выражения (4) можно представить в следующем виде:

$$(5)\ \Delta\rho_i(t+1)=\sum_{k=1}^{n}\sigma_{ik}\Delta\rho_i(t), i\in N, t=0,1,2,\dots, \Delta\rho_i(t=0)=\tilde{\rho}_i.$$

Приведенные выше описание графа $G(S,W)$ вместе с динамикой изменений значений «весов» элементов системы S до момента времени t, заданной выражениями (4) или (5) будем называть (подробнее, см., например, [9-14] «когнитивной картой» (впервые термин введен в [11]).

Обозначим $\bar{\rho}_i(t)=(\rho_i(0),\rho_i(1),\dots,\rho_i(t))$ – вектор значений «весов» элемента $s_i\in S$, $i\in N$, системы S до момента времени t, $\bar{P}(t)=(\rho_1(t),\rho_2(t),\dots,\rho_n(t))$ – вектор значений «весов» элементов системы S в момент времени t, $\mathcal{P}(t)=(\bar{P}(0),\bar{P}(1),\dots,\bar{P}(t))$ – матрица динамики изменений значений «весов» элементов системы S до момента времени t (в терминологии [9, 10] – «траектории»), $t=0,1,2,\dots$.

Важнейшей особенностью «когнитивных карт» является возможность учета опосредованного влияния элементов системы S друг на друга, когда один из элементов влияет на другой, через несколько промежуточных.

Обозначим E_n – единичную матрицу размера $n\times n$ и рассмотрим, следуя [10], выражение:

$$(6)\ B^t=E_n+\Sigma+\Sigma^2+\dots+\Sigma^t, t=1,2,\dots$$

Из (4) и (6) следует, что динамика изменений значений «весов» элементов системы S до момента времени t может быть описана (с учетом введенных выше обозначений) выражением:

$$(7)\ \bar{P}(t)=B^t\bar{P}(0)+(E_n-B^t)\bar{P}(-1), t=1,2,\dots$$

Тогда, если считать, что $\rho_i(t)\equiv 0$ при $t<0$ (подробнее см. [10]), то выражение (7) примет вид:

$$(8)\ \bar{P}(t)=B^t\bar{P}(0), t=1,2,\dots$$

Если матрица Σ такова, что все ее собственные значения содержаться внутри окружности единичного радиуса на комплексной плоскости, то выполнения данного требования достаточно для обеспечения сходимости суммы натуральных степеней матрицы Σ^t при $t\to\infty$ (подробнее см. [10]). Обозначим B^∞ значение суммы (6) при $t\to\infty$ ($B^\infty\approx(E_n-\Sigma)^{-1}$, см. [10]), тогда при $t\to\infty$ выражение (8) примет вид:

$$(9)\quad \bar{P}(\infty)=B^\infty\bar{P}(0),$$

где $\bar{P}(\infty)=(\rho_1(\infty),\rho_2(\infty),\dots,\rho_n(\infty))$ – «установившиеся» значения локальных рисков элемента $s_i\in S$, $i\in N$, системы S, которые мы и будем рассматривать в качестве «заявок» в модели, описанной в разделе 2. Упорядочивая их по убыванию $\rho_{(1)}(\infty)\ge\rho_{(2)}(\infty)\ge\dots\ge\rho_{(n)}(\infty)$ и применяя подход, представленный в разделе 2, мы имеем возможность выбрать в качестве эффективного решения «задачи защитника» (3) соответствующее МС-решение.

Заключение

В работе рассматривается общая модель управления рисками сложной системы, в том числе, объектами КИИ РФ и КИИ РФ в целом, в рамках которой менеджер риска (*risk-manager*), осуществляет эффективное управление рисками сложной системы путем распределения имеющегося в его распоряжении ресурса между ее элементами. В качестве элементов могут выступать, например, отдельные функциональные элементы объектов КИИ РФ, отдельные элементы производственных процессов объектов КИИ РФ, сами объекты КИИ РФ при моделировании КИИ РФ в целом. Для оценки состояния элементов системы используются функции локального риска, удовлетворяющие некоторым заданным требованиям, а для оценки состояния системы в целом – функция интегрального риска.

Рассмотрена задача управления рисками в условиях неопределенности, когда информация о конкретном виде функций локального риска элементов системы отсутствует.

Показано, что в случае независимости (отсутствия взаимного влияния друг на друга) элементов системы для нахождения эффективного распределения ресурса может быть использован теоретико-игровой подход на базе арбитражной схемы, основанной на принципах стимуляции и неподавления (МС-решение).

Также показано, что в случае, когда элементы системы могут оказывать на состояния друг на друга определенное воздействие дополнительно, к указанному выше, может быть использован другой теоретико-игровой подход с использованием игры на когнитивной карте (когнитивная игра).

В качестве дальнейших направлений исследований представляется целесообразным рассмотреть модель информационного противоборства, в которой кроме RM, играющего роль «защитника» сложной системы, также присутствует субъект, играющий роль «атакующего».

Литература

1. *Калашников А.О.* Модели и методы организационного управления информационными рисками корпораций – М.: Эгвес, 2011. – 312 с. – ISBN 978-5-91450-078-5.
2. Федеральный закон от 26.07.2017 № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».
3. *Подиновский В.В.* Парето-оптимальные решения многокритериальных задач // В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. – М.: Наука, 1982. – 382 с.
4. *Хохлов, Н.В.* Управление риском: Учебное пособие– М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 239 с.
5. *Калашников А.О.* Управление информационными рисками с использованием арбитражных схем// Системы управления и информационные технологии. 2004, № 4 (16). – С. 57-61.
6. *Калашников А.О.* Организационные механизмы управления информационными рисками корпораций – М.: ПМСОФТ, 2008. – 175 с. – ISBN 978-5-9900281-9-7.
7. *Ротарь В.И.* О принципе стимуляции в арбитражной схеме // Экономика и математические методы.1984, т. XVII. в. 4. – С. 751-764.
8. *Ротарь В.И.* О максимально стимулирующем решении задачи распределения доходов / В.И. Ротарь, А.О. Калашников // Тезисы докладов сообщений Всесоюзного симпозиума «Современные проблемы математической экономики» – Вильнюс: ИМК АН Литовской ССР, 1984. – С. 48-49.
9. *Робертс Ф.С.* Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам – М.: Наука, 1986. – 496 с.
10. *Новиков Д.А.* «Когнитивные игры»: линейная импульсная модель // Проблемы управления. 2008, № 3, С. 14-22.
11. *Tolman E.* Cognitive Maps in Rats and Men// Psychological Review. 1948, № 55. – P.189-208.
12. *Кулинич А.А.* Систематизация когнитивных карт и методов их анализа // Тр. VII-й междунар. конф. «Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций». – М.: ИПУ РАН, 2007. – С. 50-56.
13. *Максимов В.И.* Структурно-целевой анализ развития социально-экономических ситуаций// Проблемы управления.2005, № 3. – С.30-38.
14. *Авдеева З.К., Коврига С.В., Макаренко Д.И., Максимов В.И.* Когнитивный подход в управлении // Проблемы управления. 2007, № 3. – С.2-8.