

Методы и модели системного анализа

Интегрированный подход к разработке общей модели функционирования систем физической защиты объектов

А. С. БОРОВСКИЙ, А. Д. ТАРАСОВ

Аннотация. Предлагается подход к созданию математической модели функционирования систем физической защиты как процесса взаимодействия множеств на основе теории обычных множеств, теории нечетких множеств и метода анализа иерархий.

Ключевые слова: множество, некоторое множество, соответствие множеств, нечеткое соответствие, композиция соответствий, метод анализа иерархий.

Введение

Необходимость математического моделирования функционирования систем физической защиты (СФЗ) обусловлена важностью оценки уязвимости и защищенности объекта с целью выработки наилучшей по заданному критерию стратегии его защиты и оценки ее эффективности.

В настоящее время не существует какой-либо единой системной классификации математических моделей функционирования СФЗ ввиду ограниченного числа исходных данных, поэтому в данной статье приведем простой перечень и краткую характеристику некоторых моделей, которые, на наш взгляд, наиболее существенные:

- **общая модель процесса функционирования СФЗ** — представлена как процесс взаимодействия трех множеств или пространств: множество источников угроз, множество зон объекта защиты, множество инженерно-технических средств охраны (можно еще ввести четвертую составляющую — множество средств нейтрализации угроз, однако данный аспект в работе не рассматривается). Итогом их взаимодействия будет тот или иной уровень защищенности объекта (состав комплекса инженерно-технических средств охраны);

- **модель категорирования объектов** — основной целью данной модели является обоснование достаточности качественных и количественных требований к уровню защищенности объекта; может быть представлена в виде двух моделей: модель категорирования объекта по степени потенциальной опасности в случае реализации угроз и модель категорирования объектов по уязвимости к возможным противоправным действиям [1];
- **модель нарушителя** — является частью предыдущей модели категорирования объектов и предназначена для оценки уязвимости объекта и, соответственно, для задания уровня защищенности объекта [1];
- **модель оценки эффективности выполнения СФЗ своих функций:** обнаружения, задержки и нейтрализации (данные модели в настоящее время достаточно хорошо разработаны, они используются в программных комплексах оценки эффективности СФЗ).

Представленная в данной статье общая модель процесса функционирования СФЗ находится на стыке нескольких теорий: теории обычных множеств, теории нечетких множеств, теории нечетких графов и метода анализа иерархий.

1. Основные используемые определения

Определение 1. Множество — это совокупность объектов, рассматриваемая как единое целое.

Определение 2. Соответствие множеств образуется, если элементы двух множеств A и B могут каким либо образом сопоставляться друг с другом, образуя пары (a, b) .

Определение 3. Композиция соответствий есть операция с тремя множествами X , Y и Z , на которых определены два соответствия между X и Y и между Y и Z , причем область значений первого соответствия совпадает с областью определения второго соответствия. Композиция соответствий сопоставляет с каждым элементом x из области определения первого соответствия один или несколько элементов z из области значений второго соответствия.

Подробно теорию множеств можно посмотреть в литературном источнике [2].

Определение 4. Нечеткое множество $A \in X$ представляет собой набор пар $\{(x, \mu_A(x))\}$, где $x \in X$. X называется базовым множеством или базовой шкалой. Величина $\mu_A(x)$ принимает определенное значение из замкнутого интервала $[0; 1]$, которое называется степенью принадлежности элемента x нечеткому множеству A .

Определение 5. Прямое произведение нечетких множеств $A = \{(\mu_A(x) / x)\}$, ($x \in X$) и $B = \{(\mu_B(y) / y)\}$, ($y \in Y$) определяется выражением $A \times B = \{(\mu_{A \times B}(x, y) / (x, y))\}$, $x \in X$, $y \in Y$, где $\mu_{A \times B}(x, y) = \mu_A(x) \& \mu_B(y)$.

Определение 6. Нечетким соответствием между множествами X и Y называется тройка множеств, в которой X , Y — произвольные четкие множества, а F — нечеткое множество в $X \times Y$, что обозначается как $A = (X, Y, F)$.

Определение 7. Композицией нечетких соответствий $A = (X, Y, Q)$ и $B = (Y, Z, P)$ называется нечеткое соответствие $C = (X, Z, S)$, обозначаемое $C = A \circ B$, у которого область значений совпадает с областью значений соответствия A , область определения — с областью определения соответствия B .

Подробно теорию нечетких множеств смотрите в литературном источнике [3].

2. Модель функционирования СФЗ на основе четких множеств с четкими соответствиями

2.1. Описание множеств и соответствий

Рассматривается модель процесса функционирования СФЗ как взаимодействие семи множеств: множества источников угроз, множества зон объекта защиты, множества средств охраны, множества при-

оритетов угроз, множества важности зон объекта, множества эффективности средств защиты, множества стоимостей средств защиты.

Под угрозой можно понимать проявленное в любой форме намерение нанести физический, материальный или иной вред [4]. Для каждого объекта существует набор возможных угроз, которые теоретически могут быть реализованы, и, следовательно, от них (и только от них) необходимо защищать объект.

Обозначим множество угроз $X = \{x_i | i = 1, \dots, N\}$. Оно содержит все возможные виды угроз (N элементов), учитываемые при проектировании СФЗ на объекте.

Например, виды угроз могут быть следующими: диверсия, терроризм, нарушение технологического процесса, хищение материальных ценностей, хищение информационных ценностей.

Возможность возникновения угрозы на объекте находится в зависимости от внешнеполитической обстановки в мире в целом, а также от внутривнутриполитической обстановки в регионе, где расположен объект защиты [4]. Обычно напряженность рассматривают на нескольких уровнях: в мировом масштабе, на территории государства, в регионе, где расположен объект, и на самом объекте. Для каждого вида угроз можно определить необходимость защищать объект от такого вида угрозы при текущем уровне политической обстановки, т. е. приоритетность данной угрозы. Множество приоритетов угроз обозначим $R = \{r_i | i = 1, \dots, N\}$.

Соответствие между множеством угроз и множеством приоритетов угроз присвоит каждой угрозе коэффициент r_i . Получаемый коэффициент соответствия покажет, насколько вероятно реализация i -й угрозы при существующей напряженности политической обстановки по сравнению с остальными видами угроз.

Объект защиты можно условно разделить на зоны — непересекающиеся области, каждая из которых является целью какой-либо угрозы (или, как минимум, территорией, где может быть расположено средство физической защиты). В формализованном представлении объекта обычно определяют охраняемые зоны и рубежи, разделяющие эти зоны. Для проникновения в охраняемую зону нарушитель должен преодолеть соответствующие рубежи как единственные пути доступа. Следовательно, именно рубежи должны быть защищены от проникновения, и в них будут концентрироваться средства защиты. В данной модели не используется понятие рубеж, а принимается, что охраняемые зоны как места появления нарушителей должны содержать в себе средства защиты.

Объект будет представлять собой множество $Y = \{y_j | j = 1, \dots, V\}$ непересекающихся зон — потенциальных целей (V элементов). Набор элементов множества зависит от объекта защиты. Пример зоны —

база товарно-материальных ценностей нефтеперерабатывающего завода (НПЗ).

Для зон объекта необходимо задавать их относительную важность. В случае удавшейся реализации угрозы на территории каждой зоны объект в целом будет нести материальные потери и потери других видов. Уровень потерь зависит от вида реализованной угрозы, от того, что было целью угрозы, насколько удачно проведены действия нарушителей и т. п. Для оценки возможных потерь обычно рассматривают самый пессимистичный вариант развития событий (самая опасная угроза — диверсия, полностью удавшаяся в самом разрушительном варианте). Возможные при таких условиях потери в одной зоне объекта по сравнению с другими зонами показывают относительную важность данной зоны. Каждая зона объекта будет соответствовать элементу множества важности $S = \{s_j | j=1, \dots, V\}$ с коэффициентом соответствия s_j , показывающим, насколько будут велики потери при реализации угрозы в j -й зоне по сравнению с остальными зонами.

Множество средств защиты объекта $Z = \{z_k | k = 1, \dots, M\}$ содержит элементы системы физической защиты, которые выполняют функцию полной или частичной блокировки угроз, например система контроля доступа, система видео наблюдения, система охранной сигнализации, физические барьеры, силы охраны (M элементов).

Каждое средство защиты требует определенных затрат на установку и дальнейшее обслуживание, следовательно, в модели необходимо учитывать их соответствие элементу множества стоимостей $T = \{t_k | k = 1, \dots, M\}$ в виде t_k — коэффициента, показывающего, насколько дороже использовать k -е средство защиты по сравнению с остальными элементами СФЗ.

Элементы СФЗ отличаются различной способностью противостоять угрозам. Любое средство защиты может блокировать угрозы не полностью, а с определенной степенью эффективности. Для каждого элемента СФЗ нужно учитывать его соответствие элементу множества эффективностей $L = \{l_k | k = 1, \dots, M\}$ в виде l_k — коэффициента, показывающего, насколько хорошо противодействует k -е средство защиты различным типам угроз по сравнению с остальными средствами.

Вышеперечисленные соответствия будут являться отображениями, так как для каждого элемента первого множества всегда будет находиться только один элемент второго множества. Следующие соответствия не являются отображениями, для каждого элемента одного множества будут найдены несколько элементов второго множества.

Соответствие множества средств охраны Z множеству угроз X , т. е. блокирование полное или частичное угрозы можно представить в виде множества

$Q \subseteq Z \times X$, определяющего закон, по которому осуществляется соответствие между множествами Z и X . Закон соответствия должен указывать, насколько эффективно блокируется каждый вид угрозы данным видом защиты. Каждый элемент СФЗ будет характеризоваться несколькими параметрами, количество которых равно числу видов угроз. Для k -го средства будут определены N коэффициентов Q_{ki} — вероятность реагирования и предотвращения i -й угрозы в зоне защищенной данным элементом СФЗ.

Соответствие множества угроз X множеству зон объекта Y , т. е. воздействие источников угроз x на локальные зоны y объекта можно представить в виде множества $P \subseteq X \times Y$, определяющего закон, по которому осуществляется соответствие между множествами X и Y . Соответствие будет показывать, какой вид угрозы наиболее вероятен для конкретной зоны объекта. Для каждой угрозы будут получены V (по количеству зон объекта) параметров P_{ij} — вероятность появления и реализации i -й угрозы по отношению к j -й цели.

Соответствие множества средств охраны Z множеству зон объекта Y можно представить в виде множества $F \subseteq Z \times Y$, определяющего закон, по которому осуществляется данное соответствие. Оно покажет, какие элементы СФЗ будут более надежно защищать определенную зону объекта в зависимости от нацеленных на зону угроз. Оценивается следующее: на какую потенциальную цель нарушителя будут направлены с большим приоритетом те угрозы, против которых более эффективен данный элемент СФЗ. Другими словами, в какой зоне объекта рассматриваемое средство защиты столкнется с нарушителем, под которого это средство «заточено». Для каждого средства защиты будут получены V показателей эффективности защиты каждой цели: F_{kj} — коэффициент необходимости защиты k -м элементом СФЗ j -й зоны объекта. Отношения и соответствия множеств показаны на рис. 1.

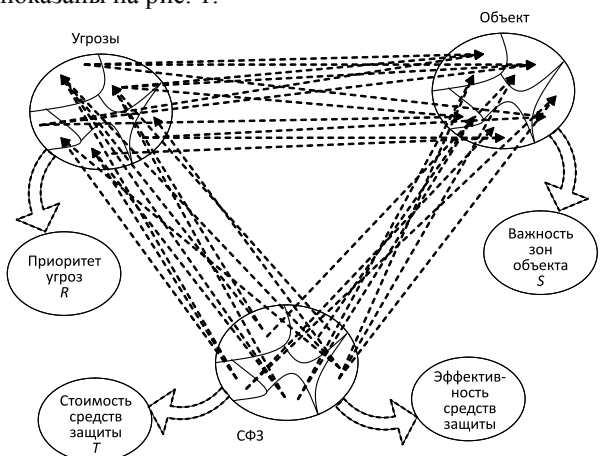


Рис. 1. Модель на основе четких множеств с четкими соответствиями

2.2. Композиция четких соответствий

Таблица 1

Данная модель включает в себя композицию соответствий множеств. Соответствие множества средств охраны Z множеству зон объекта Y можно определить с помощью соответствия множества средств охраны Z множеству угроз X и соответствия множества угроз X множеству зон объекта Y .

Используя два соответствия $q = (Z, X, P)$, $Q \subseteq Z \times X$ и $p = (X, Y, Q)$, $P \subseteq X \times Y$, сопоставим с каждым элементом z из области определения первого соответствия один или несколько элементов y из области значений второго соответствия и, таким образом, получим третье соответствие $q(p) = (Z, Y, F)$, $F \subseteq Z \times Y$.

По коэффициентам третьего соответствия можно определить, в какую зону желательно установить выбранные средства защиты. Следовательно, определив первые два соответствия с помощью экспертных знаний и учитывая относительную ценность потенциальных целей, можно найти ответ на вопрос: какой состав системы физической защиты требуется для данного объекта?

Матрица парных сравнений для угроз объекту «цель 1»

	Диверсия	Терроризм	Нарушение технологического процесса	Хищение материальных ценностей	Хищение информационных ценностей
Диверсия	1	1/2	5	1/3	5
Терроризм	2	1	7	1/2	7
Нарушение технологического процесса	1/5	1/7	1	1/9	1
Хищение материальных ценностей	3	2	9	1	9
Хищение информационных ценностей	1/5	1/7	1	1/9	1

2.3. Пример расчетов модели

Таблица 2

Для определения параметров соответствий Q_{ki} и P_{ij} , а также коэффициентов r_i, s_j, t_k, l_k используется метод анализа иерархий Т. Саати. При использовании этого метода проводятся парные сравнения элементов по отношению к их воздействию на общую для них характеристику. Подробно данный метод описан в литературном источнике [5].

Матрица парных сравнений для эффективности СФЗ против угрозы «диверсия»

	СКД	СВН	СОС	ФБ	СО
СКД	1	1	1/5	1/5	1/3
СВН	1	1	1/5	1/5	1/3
СОС	5	5	1	1	2
ФБ	5	5	1	1	2
СО	3	3	1/2	1/2	1

Приведем пример использования данной методики. В качестве объекта защиты был выбран НПЗ. Множества содержат следующие элементы.

Угрозы: диверсия, терроризм, нарушение технологического процесса, хищение материальных ценностей, хищение информационных ценностей.

Зоны объекта: цель 1 (база товарно-материальных ценностей), цель 2 (коммерческий узел учета нефти), цель 3 (технологическая установка), цель 4 (цех товарно-сырьевого производства), цель 5 (водозабор), цель 6 (биологические очистные сооружения).

Элементы СФЗ: система контроля доступа (СКД), система видеонаблюдения (СВН), система охранной сигнализации (СОС), физические барьеры (ФБ), силы охраны (СО).

Эксперты должны определить, насколько вероятен каждый тип угрозы для зон объекта. Матрица парных сравнений для зоны цель 1 (база товарно-материальных ценностей) показана в табл. 1. Матрицы составляются для каждой зоны объекта — в приведенном примере всего 6 таких матриц.

Далее эксперты определяют эффективность средств защиты по отношению ко всем видам угроз. Матрица парных сравнений для угрозы диверсия показана в табл. 2. Количество матриц для угроз равно 5.

Для определения относительных вероятностей появления угроз, относительной ценности зон объекта, коэффициентов затрат на элементы СФЗ и коэффициентов эффективности элементов СФЗ также используются матрицы парных сравнений.

Следующий шаг — вычисление параметров соответствий, участвующих в композиции. Это P_{ij} — вероятности появления и реализации каждой угрозы по отношению ко всем зонам объекта — и Q_{ki} — вероятности реагирования каждого средства защиты и предотвращения угрозы по отношению ко всем видам угроз. Процесс определения коэффициентов состоит в вычислении вектора приоритетов по матрицам парных сравнений следующим способом. Нужно суммировать элементы каждой строки и нормализовать делением каждой суммы на сумму всех элементов; сумма полученных результатов будет равна единице. Первый элемент результирующего вектора будет приоритетом первого объекта, второй — второго и т. д. [5]. Аналогично высчитываются коэффициенты r_i, s_j, t_k, l_k .

r_i — диверсия 0,0979, терроризм 0,0979, нарушение технологического процесса 0,1856, хищение

материальных ценностей 0,3093, хищение информационных ценностей 0,3093;

s_j — цель 1 — 0,0799, цель 2 — 0,0452, цель 3 — 0,2081, цель 4 — 0,2081, цель 5 — 0,1327, цель 6 — 0,3258;

t_k — система контроля доступа 0,1630, система видео наблюдения 0,2935, система охранной сигнализации 0,1630, физические барьеры 0,0870, силы охраны 0,2935;

l_k — система контроля доступа 0,2222, система видео наблюдения 0,2222, система охранной сигнализации 0,1284, физические барьеры 0,0716, силы охраны 0,3556.

Полученные параметры отображений изменяем в соответствии с коэффициентами r_i , t_k , l_k . Итоговые коэффициенты рассчитываются по формулам:

$G_{ij} = P_{ij} \times r_i$, где i — номер угрозы, j — номер зоны объекта

G_{ij} — вероятность появления и реализации каждой угрозы по отношению ко всем зонам объекта при текущей напряженности обстановки.

$H_{ki} = Q_{ki} / l_k \times t_k$, где k — номер элемента СФЗ, i — номер угрозы

Для коэффициента затрат используем операцию деления, так как предпочтение выбранного средства защиты над другими будет тем выше чем меньше затраты на него. Выражение $1/t_k$ будет являться уровнем дешевизны средства защиты.

H_{ki} — эффективность реагирования каждого средства защиты и предотвращения угрозы по отношению ко всем видам угроз с учетом относительной стоимости элементов СФЗ и относительной эффективности элементов. Коэффициенты G_{ij} , H_{ki} приведены в табл. 3 и 4.

Далее проводится расчет соответствия $q(p) = (Z, Y, F)$, $F \subseteq Z \times Y$. Произведение матриц параметров отображения угроз на объект и параметров отображения СФЗ на угрозы дает матрицу параметров F_{kj} отображения СФЗ на объект.

Произведение матриц осуществляется по формуле $F_{kj} = \sum_{i=1}^N (G_{ij} \times H_{ki})$.

Полученные параметры отображения СФЗ на объект изменяем в соответствии с относительными ценностями зон объекта. Итоговые коэффициенты рассчитываются по формуле $O_{kj} = F_{kj} \times s_j$, где k — номер элемента СФЗ, j — номер зоны объекта. Коэффициенты O_{kj} приведены в табл. 5.

По полученным итоговым коэффициентам можно сделать вывод о необходимых средствах защиты, которые должны быть установлены в каждой зоне объекта. Критерий отбора основывается на сравнении коэффициента с минимальным порогом. Если параметр элемента СФЗ меньше указанного порога, то

Таблица 3

Параметры отображения угроз на объект с учетом вероятности появления и реализации каждой угрозы

	цель 1	цель 2	цель 3	цель 4	цель 5	цель 6
Диверсия	0,0199	0,0165	0,0208	0,0208	0,0294	0,0330
Терроризм	0,0294	0,0165	0,0136	0,0136	0,0199	0,0231
Нарушение технологического процесса	0,0078	0,0105	0,0574	0,0574	0,0765	0,0109
Хищение материальных ценностей	0,1274	0,0175	0,0957	0,0957	0,0130	0,1042
Хищение информационных ценностей	0,0130	0,1702	0,0094	0,0094	0,0130	0,0097

Таблица 4

Параметры отображения СФЗ на угрозы с учетом относительной стоимости и эффективности элементов СФЗ

	Диверсия	Терроризм	Нарушение технологического процесса	Хищение материальных ценностей	Хищение информационных ценностей
Система контроля доступа	0,0898	0,0577	0,1313	0,2337	0,3142
Система видео наблюдения	0,0499	0,0924	0,1311	0,0742	0,1746
Система охранной сигнализации	0,2659	0,0961	0,2237	0,3395	0,1019
Физические барьеры	0,2780	0,1822	0,3388	0,2178	0,2997
Силы охраны	0,2337	0,5965	0,0424	0,0424	0,0552

Таблица 5

Параметры отображения СФЗ на объект с учетом относительной важности целей

	СКД	СВН	СОС	ФБ	СО
цель 1 (база товарно-материальных ценностей)	0,0031	0,0013	0,0044	0,0036	0,0023
цель 2 (коммерческий узел учета нефти)	0,0028	0,0016	0,0014	0,0030	0,0011
цель 3 (технологическая установка)	0,0074	0,0039	0,0111	0,0107	0,0042
цель 4 (цех товарно-сырьевого производства)	0,0074	0,0039	0,0111	0,0107	0,0042
цель 5 (водозабор)	0,0028	0,0022	0,0043	0,0059	0,0031
цель 6 (биологические очистные сооружения)	0,0108	0,0048	0,0162	0,0139	0,0088

Таблица 6
Состав СФЗ на объекте

База товарно-материальных ценностей	Коммерческий узел учета нефти	Технологическая установка	Цех товарно-сырьевого производства	Водо-забор	Биологические сооружения
СКД	ФБ	СКД	СКД	СОС	СКД
СОС		СВН	СВН	ФБ	СВН
ФБ		СОС	СОС	СО	СОС
		ФБ	ФБ		ФБ
		СО	СО		СО

его эффективность слишком низкая. Это означает, что средство защиты или будет бесполезно из-за очень малого шанса появления нарушителей, или возможные потери в случае реализации угрозы в данной зоне относительно невелики, или элемент СФЗ требует для установки и эксплуатации затраты, не соответствующие его низкому уровню противодействия угрозам. В итоге такой элемент СФЗ не устанавливается.

Минимальный порог должен выбираться экспертами. В приведенном примере порог был определен таким образом, что в зоне с наименьшим максимальным коэффициентом будет установлено только одно, самое эффективное средство защиты. Порог рассчитывался следующим образом. Максимальные коэффициенты в каждой зоне (по строкам табл. 5) равны соответственно 0,0044; 0,0030; 0,0107; 0,0107; 0,0043; 0,0162. Наименьший из них — 0,0030 — является максимальным коэффициентом второй зоны. Следовательно, если взять порог, равный 0,0030, то во второй зоне все коэффициенты, кроме одного, будут меньше этого порога. В итоге состав СФЗ на объекте будет следующий (табл. 6).

Расчеты по данной модели проводились с помощью программы, написанной на языке Visual Basic

for Applications. Программу можно использовать для любых задаваемых экспертами данных. Архитектура модулей программы отображена на рис. 2.

3. Модель функционирования СФЗ на основе нечетких соответствий четких множеств

3.1. Набор множеств модели

В состав модели включается набор множеств, подобный набору из предыдущей модели. Перечислим их с указанием различий между моделями:

- 1) Множество угроз $X = \{x_i | i = 1, \dots, N\}$.
- 2) Множество обстановок $T = \{t_e | e = 1, \dots, A\}$.

Возможность возникновения любой угрозы на объекте зависит от текущей напряженности политической обстановки. Множество T содержит рассматриваемые уровни политической обстановки в регионе, включающем в себя месторасположение объекта.

Например: обстановка спокойная, напряженная, опасная.

- 3) Множество зон объекта $Y = \{y_j | j = 1, \dots, L\}$.
- 4) Множество важности зон объекта $Q = \{q_u | u = 1, \dots, B\}$. Содержит уровни ценностей областей объекта, набор категорий по возможным потерям. Например: потери низкие, средние, высокие.
- 5) Множество элементов системы физической защиты $Z = \{z_k | k = 1, M\}$.
- 6) Множество эффективности средств защиты $G = \{g_v | v = 1, \dots, C\}$. Содержит уровни противодействия различным типам угроз. Например: уровень противодействия низкий, средний, высокий.
- 7) Множество стоимостей средств защиты $S = \{s_w | w = 1, \dots, D\}$. Содержит уровни затрат, требуемых на установку и обслуживание элементов СФЗ. Например: затраты низкие, средние, высокие.

3.2. Описание нечетких соответствий

В данной модели можно определить следующие соответствия:

- 1) Соответствие множества средств защиты Z множеству угроз X , определяющееся нечетким множеством O_1 в $Z \times X$, по которому осуществляется нечеткое соответствие между Z и X . Функция принадлежности $\mu_{O_1}(z_k, x_i)$ будет указывать, насколько

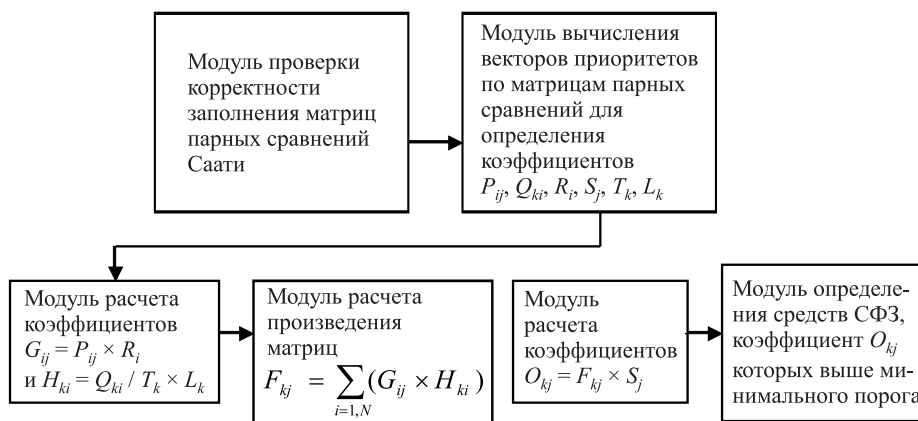


Рис. 2. Архитектура модулей программы для расчетов по модели

эффективно каждый вид угрозы будет блокироваться выбранным средством защиты. При этом $\mu_{O1}(z_k, x_i) = 0$ означает, что угроза совершенно не блокируется (соответствия нет), а $\mu_{O1}(z_k, x_i) = 1$ — что угроза блокируется полностью. Каждый элемент СФЗ должен соответствовать одному или более видам угрозы с ненулевым значением. Если средство защиты не соответствует ни одной из угроз (не может защитить объект ни от одной угрозы), то оно не должно присутствовать в модели.

2) Соответствие множества угроз X множеству зон объекта Y , определяющееся нечетким множеством $O2$ в $X \times Y$, по которому осуществляется нечеткое соответствие между X и Y . Функция принадлежности $\mu_{O2}(x_i, y_j)$ будет указывать, с каким предпочтением каждая угроза будет направлена на определенную зону объекта. $\mu_{O2}(x_i, y_j) = 0$ означает, что угроза никогда не будет реализована в данной зоне, а $\mu_{O2}(x_i, y_j) = 1$ — что эта зона обязательно будет целью данной угрозы. Каждой угрозе будут соответствовать одна или более зон объекта с ненулевым значением. Если вид угрозы не соответствует никакой зоне объекта, то весь объект в целом не требуется защищать от данного вида угроз, и такая угроза не должна быть в модели.

3) Соответствие множества средств защиты Z множеству зон объекта Y , определяющееся нечетким множеством $O3$ в $Z \times Y$, по которому осуществляется нечеткое соответствие между Z и Y . Функция принадлежности $\mu_{O3}(z_k, y_j)$ будет указывать, насколько желательно в каждой зоне объекта установить определенный элемент СФЗ. $\mu_{O3}(z_k, y_j) = 0$ означает, что средство защиты абсолютно не требуется в данной зоне, а $\mu_{O3}(z_k, y_j) = 1$ — что средство защиты установить совершенно необходимо. Для каждого средства защиты может быть указано любое количество зон объекта как места, куда должно быть установлено это средство защиты с каким-либо уровнем требования.

4) Соответствие множества угроз X множеству обстановок T , определяющееся нечетким множеством $O4$ в $X \times T$, по которому осуществляется нечеткое соответствие между X и T . Функция принадлежности $\mu_{O4}(x_i, t_e)$ будет указывать уровень возможности появления каждого вида угрозы при данном уровне обстановки. $\mu_{O4}(x_i, t_e) = 0$ означает, что угроза никогда не возникнет при таком уровне обстановки, а $\mu_{O4}(x_i, t_e) = 1$ — что угроза появится обязательно.

5) Соответствие множества зон объекта Y множеству важности зон объекта Q , определяющееся нечетким множеством $O5$ в $Y \times Q$, по которому осуществляется нечеткое соответствие между Y и Q . Функция принадлежности $\mu_{O5}(y_j, q_u)$ будет указывать, какому уровню важности каждая зона объекта принадлежит в большей или в меньшей степени. $\mu_{O5}(y_j, q_u) = 0$ означает, что зона совершенно не соответствует такому уровню важности, а $\mu_{O5}(y_j, q_u) = 1$ — что соответствует полностью.

6) Соответствие множества средств защиты Z множеству эффективности средств защиты G , определяющееся нечетким множеством $O6$ в $Z \times G$, по которому осуществляется нечеткое соответствие между Z и G . Функция принадлежности $\mu_{O6}(z_k, g_v)$ будет указывать, насколько соответствует данному уровню эффективности в борьбе с угрозами каждое средство защиты. $\mu_{O6}(z_k, g_v) = 0$ означает, что средство защиты совершенно не подходит к данному уровню эффективности, а $\mu_{O6}(z_k, g_v) = 1$ — что средство защиты имеет именно такой уровень эффективности.

7) Соответствие множества средств защиты Z множеству стоимостей средств защиты S , определяющееся нечетким множеством $O7$ в $Z \times S$, по которому осуществляется нечеткое соответствие между Z и S . Функция принадлежности $\mu_{O7}(z_k, s_w)$ будет указывать, какому уровню затрат, необходимых на установку и эксплуатацию, соответствует каждое средство защиты. $\mu_{O7}(z_k, s_w) = 0$ означает, что средство защиты совершенно не подходит под данный уровень затрат, а $\mu_{O7}(z_k, s_w) = 1$ — что уровень затрат средства защиты полностью совпадает с выбранным.

После вычисления соответствия множества угроз X множеству обстановок T можно оценить, какие угрозы теоретически могут быть реализованы при существующей обстановке в регионе, где расположен объект. Для этого из элементов множества обстановок выбирается уровень, наиболее подходящий для текущей обстановки. Далее определяются угрозы, коэффициент соответствия которых с выбранным уровнем равен 0 (или очень близок к 0). Такие угрозы невозможны или маловероятны. Следовательно, они не должны учитываться в модели и могут быть удалены из множества угроз.

Аналогично можно уточнить состав множеств зон объекта и элементов СФЗ. Соответствие множества зон объекта Y множеству важности зон объекта Q покажет, присутствуют ли в модели зоны объекта с такой низкой важностью, что их не требуется защищать. Соответствие множества средств защиты Z множеству эффективности средств защиты G определит слишком малоэффективные элементы СФЗ, а соответствие множества средств защиты Z множеству стоимостей средств защиты S — слишком дорогие (если существует ограничение по стоимости). Два последних соответствия также можно рассматривать вместе, например из средств защиты с одинаковой стоимостью оставить во множестве более эффективное.

3.3. Композиция нечетких соответствий

В данной модели три множества — угроз X , зон объекта Y и элементов СФЗ — образуют композицию нечетких соответствий. Используя соответствие множества средств защиты Z множеству угроз X $q = (Z, X, O1)$, где $O1$ — нечеткое множество в $Z \times X$, и соответствие множества угроз X множеству зон объекта Y $p = (X, Y, O2)$, где $O2$ — нечеткое множество

Таблица 7

Матричное задание нечеткого соответствия $q(p) = (Z, Y, O3)$

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6
z_1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2
z_2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
z_3	0,4	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
z_4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3
z_5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Таблица 8

Состав СФЗ на объекте

База товарно-материальных ценностей	Коммерческий узел учета нефти	Технологическая установка	Цех товарно-сырьевого производства	Водо-забор	Биологические очистные сооружения
СКД	СКД	СКД	СКД	СВН	СКД
СОС	СВН	СВН	СВН	СОС	СОС
ФБ	СОС	СОС	СОС	ФБ	ФБ
СО	ФБ	ФБ	ФБ	СО	СО
	СО	СО	СО		

в $X \times Y$, можно сопоставить с каждым элементом z из области определения первого соответствия один или несколько элементов y из области значений второго соответствия, т. е. $q(p) = (Z, Y, O3)$, где $O3$ — нечеткое множество в $Z \times Y$, и, таким образом, найти соответствие множества средств защиты Z множеству зон объекта Y .

3.4. Результаты расчетов модели

Были проведены расчеты нечетких соответствий, а также композиции нечетких соответствий. Множества задавались аналогично предыдущей модели. Полученные коэффициенты нечеткого соответствия $q(p) = (Z, Y, O3)$ приведены в табл. 7. По итоговым коэффициентам можно сделать вывод о необходимых средствах защиты, которые должны быть установлены в каждой зоне объекта. В приведенном примере порог был определен равным наименьшему итоговому коэффициенту — 0,1. Элементы СФЗ, коэффициент которых меньше или равен 0,1, не устанавливаются (табл. 8).

4. Модель функционирования СФЗ на основе нечетких множеств

4.1. Набор нечетких множеств модели

1) Множество «Умышленные угрозы физической безопасности объекта».

Универсальное множество «Угрозы» (X) содержит все существующие виды угроз. Нечеткое мно-

жество $\tilde{X} = \{(\mu_X(x) / x)\}$, где $x \in X$, соответствует нечеткому понятию «Умышленные угрозы физической безопасности объекта». В это множество могут входить следующие нечеткие переменные: диверсия, терроризм, нарушение технологического процесса, хищение материальных ценностей, хищение информационных ценностей. Величина $\mu_X(x)$ означает степень того, насколько данное действие нарушителя принадлежит множеству угроз объекту, т. е. насколько конкретный вид угрозы реален для рассматриваемого объекта.

2) Множество «Политическая обстановка в регионе объекта».

Универсальное множество «Политическая обстановка» (T) содержит все возможные уровни напряженности политической обстановки. Нечеткое множество $\tilde{T} = \{(\mu_T(t) / t)\}$, где $t \in T$, соответствует нечеткому понятию «Политическая обстановка в регионе объекта». В это множество входят следующие нечеткие переменные: обстановка спокойная, напряженная, опасная. Величина $\mu_T(t)$ означает степень возникновения угроз при возможных уровнях политической обстановки и показывает, чему будет равен уровень опасности, исходящей от угроз, при различных вариантах напряженности обстановки.

3) Множество «Защищаемые зоны объекта».

Универсальное множество «Зоны объекта» (Y) содержит все существующие непересекающиеся области объекта. Нечеткое множество $\tilde{Y} = \{(\mu_Y(y) / y)\}$, где $y \in Y$, соответствует нечеткому понятию «Защищаемые зоны объекта». В это множество могут входить следующие нечеткие переменные: база товарно-материальных ценностей, технологическая установка, цех товарно-сырьевого производства и т. п. Величина $\mu_Y(y)$ означает степень принадлежности зоны множеству защищаемых зон или степень необходимости защищать данную зону объекта.

4) Множество «Интегральные потери».

Универсальное множество «Категории объекта» (Q). Содержит набор категорий по возможным потерям. Нечеткое множество $\tilde{Q} = \{(\mu_Q(q) / q)\}$, где $q \in Q$, соответствует нечеткому понятию «Интегральные потери». В это множество могут входить следующие нечеткие переменные: потери низкие, средние, высокие. Величина $\mu_Q(q)$ означает степень требуемой защиты для зоны объекта с таким уровнем интегральных потерь и показывает, насколько хорошо надо защищать зону, в которой возможны указанные потери.

5) Множество «Средства обеспечения физической безопасности объекта».

Универсальное множество «Средства обеспечения комплексной безопасности объекта» (Z) содержит все существующие виды средств защиты, которые выполняют функцию полной или частичной блокировки угроз. Нечеткое множество $\tilde{Z} = \{(\mu_Z(z) / z)\}$,

где $z \in Z$, соответствует нечеткому понятию «Средства обеспечения физической безопасности объекта». В это множество могут входить следующие нечеткие переменные: система контроля доступа, система видеонаблюдения, система охранной сигнализации, физические барьеры, силы охраны. Величина $\mu_Z(z)$ означает степень принадлежности к множеству средств обеспечения физической безопасности объекта — другими словами, насколько предложенное средство защиты предпочтительно для включения в состав СФЗ объекта.

6) Множество «Степень противодействия».

Универсальное множество «Эффективность средств защиты» (G) содержит набор уровней противодействия различным типам угроз. Нечеткое множество $\tilde{G} = \{(\mu_G(g) / g)\}$, где $g \in G$, соответствует нечеткому понятию «Степень противодействия». В это множество могут входить следующие нечеткие переменные: степень противодействия низкая, средняя, высокая. Величина $\mu_G(g)$ означает уровень необходимости присутствия в СФЗ средства защиты с выбранной степенью противодействия и показывает, насколько данная степень противодействия желательна для установливаемого на объекте элемента СФЗ.

7) Множество «Допустимые затраты на приобретение средств защиты».

Универсальное множество «Затраты на приобретение средств защиты» (S) содержит все возможные уровни затрат, требуемые на приобретение и установку различных средств защиты. Нечеткое множество $\tilde{S} = \{(\mu_S(s) / s)\}$, где $s \in S$, соответствует нечеткому понятию «Допустимые затраты на приобретение средств защиты». В это множество могут входить следующие нечеткие переменные: затраты низкие, средние, высокие. Величина $\mu_S(s)$ означает степень необходимости наличия в СФЗ средства защиты с таким уровнем затрат и показывает, насколько желательно (выгодно) использовать элемент СФЗ с данным уровнем затрат.

4. 2. Соответствия нечетких множеств модели

1) Соответствие множества «Средства обеспечения физической безопасности объекта» \tilde{Z} множеству «Умышленные угрозы физической безопасности объекта» \tilde{X} , определяющееся нечетким множеством $\tilde{O}1$, базовое множество которого $Z \times X$. Функция принадлежности $\mu_{O1}(z_k, x_i)$ будет указывать насколько необходимо каждый вид угрозы блокировать каждым средством защиты. При этом $\mu_{O1}(z_k, x_i) \approx 0$ означает, что угрозу совершенно не нужно блокировать данным средством защиты (либо угроза не опасна, либо средство защиты не может считаться элементом СФЗ), а $\mu_{O1}(z_k, x_i) \approx 1$ — что угрозу необходимо блокировать, используя данный элемент СФЗ.

2) Соответствие множества «Умышленные угрозы физической безопасности объекта» \tilde{X} множеству «Защищаемые зоны объекта» \tilde{Y} , определяющееся нечетким множеством $\tilde{O}2$, базовое множество которого $X \times Y$. Функция принадлежности $\mu_{O2}(x_i, y_j)$ будет указывать, какой уровень защиты необходим при возникновении каждой угрозы в каждой зоне. $\mu_{O2}(x_i, y_j) \approx 0$ означает, что от данной угрозы не требуется защищать указанную зону, а $\mu_{O2}(x_i, y_j) \approx 1$ — что эта зона должна быть защищена от данной угрозы как можно лучше.

3) Соответствие множества «Средства обеспечения физической безопасности объекта» \tilde{Z} множеству «Защищаемые зоны объекта» \tilde{Y} , определяющееся нечетким множеством $\tilde{O}3$, базовое множество которого $Z \times Y$. Функция принадлежности $\mu_{O3}(z_k, y_j)$ будет указывать, насколько желательно каждую зону объекта защищать выбранным элементом СФЗ. $\mu_{O3}(z_k, y_j) \approx 0$ означает, что средство защиты абсолютно не требуется в данной зоне, а $\mu_{O3}(z_k, y_j) \approx 1$ — что средство защиты установить совершенно необходимо.

Следующие соответствия будут являться такими отображениями, что для каждого элемента первого множества должен находиться только один элемент второго множества.

4) Соответствие множества «Умышленные угрозы физической безопасности объекта» \tilde{X} множеству «Политическая обстановка в регионе объекта» \tilde{T} , определяющееся нечетким множеством $\tilde{O}4$, базовое множество которого $X \times T$. Функция принадлежности $\mu_{O4}(x_i, t_e)$ будет указывать уровень опасности каждого вида угрозы при существующем в настоящий момент уровне политической обстановки. $\mu_{O4}(x_i, t_e) \approx 0$ означает, что угроза не опасна при таком уровне напряженности обстановки, а $\mu_{O4}(x_i, t_e) \approx 1$ — что угроза очень опасна.

5) Соответствие множества «Защищаемые зоны объекта» \tilde{Y} множеству «Интегральные потери» \tilde{Q} , определяющееся нечетким множеством $\tilde{O}5$, базовое множество которого $Y \times Q$. Функция принадлежности $\mu_{O5}(y_j, q_u)$ будет указывать, насколько необходимо защищать каждую зону объекта при указанном уровне ее важности. $\mu_{O5}(y_j, q_u) \approx 0$ означает, что зона практически не требует защиты, а $\mu_{O5}(y_j, q_u) \approx 1$ — что защищать необходимо как можно лучше.

6) Соответствие множества «Средства обеспечения физической безопасности объекта» \tilde{Z} множеству «Степень противодействия» \tilde{G} , определяющееся нечетким множеством $\tilde{O}6$, базовое множество которого $Z \times G$. Функция принадлежности $\mu_{O6}(z_k, g_u)$ будет указывать, насколько каждое средство защиты противодействует угрозам при своем уровне эффектив-

ности. $\mu_{06}(z_k, g_v) \approx 0$ означает, что средство защиты бесполезно при данном уровне эффективности, а $\mu_{06}(z_k, x_i) \approx 1$ — что средство защиты отлично противостоит угрозам.

7) Соответствие множества «Средства обеспечения физической безопасности объекта» \tilde{Z} множеству «Допустимые затраты на приобретение средств защиты» \tilde{S} , определяющееся нечетким множеством \tilde{O}_7 , базовое множество которого $Z \times S$. Функция принадлежности $\mu_{07}(z_k, s_w)$ будет указывать, насколько желательно установить каждое средство защиты при уровне затрат, необходимых на его установку и эксплуатацию. $\mu_{07}(z_k, s_w) \approx 0$ означает, что средство защиты невыгодно приобретать при таком уровне затрат, а $\mu_{07}(z_k, s_w) \approx 1$ — что средство защиты выгодно использовать.

В данной модели также присутствует композиция нечетких соответствий.

Соответствие множества \tilde{X} множеству \tilde{T} позволит оценить, какие действия нарушителей могут являться угрозами при существующей обстановке в регионе, где расположен объект. Перед определением соответствий из элементов множества обстановок выбирается уровень, наиболее подходящий для текущей обстановки. Далее вычисляются коэффициенты $\mu_{04}(x_i, t_e)$ всех угроз с выбранным уровнем обстановки по формуле

$$\mu_{04}(x_i, t_e) = \mu_X(x_i) \& \mu_T(t_e).$$

Полученные коэффициенты присваиваем множеству \tilde{X} . Аналогично можно определить новые коэффициенты множеств \tilde{Y} и \tilde{Z} . Соответствие множества \tilde{Y} множеству \tilde{Q} покажет, присутствуют ли в модели зоны объекта, которые не требуется защищать. Соответствие множества \tilde{Z} множеству \tilde{G} определит слишком малоэффективные элементы СФЗ, а соответствие множества \tilde{Z} множеству \tilde{S} — слишком дорогие.

4.3. Результаты расчетов модели

Для определения элементов нечетких множеств применялся метод анализа иерархий Т. Саати. Например, множество «Умышленные угрозы физической безопасности объекта» содержит следующие элементы:

- x_1 — диверсия: $\mu_X(x_1) = 0,9$;
- x_2 — терроризм: $\mu_X(x_2) = 0,8$;
- x_3 — нарушение технологического процесса: $\mu_X(x_3) = 0,6$;
- x_4 — хищение материальных ценностей: $\mu_X(x_4) = 0,5$;
- x_5 — хищение информационных ценностей: $\mu_X(x_5) = 0,2$;

Полученное соответствие $q(p) = (\tilde{Z}, \tilde{Y}, \tilde{O}_3)$ в виде графа показано на рис. 3.

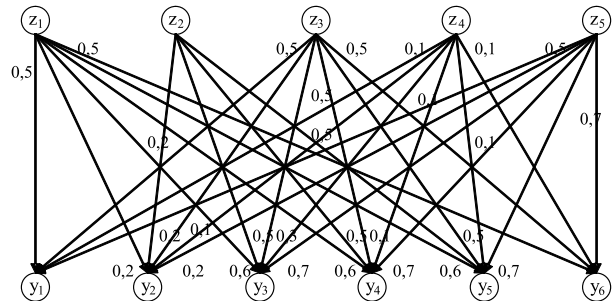


Рис. 3. Графическое задание нечеткого соответствия $q(p) = (\tilde{Z}, \tilde{Y}, \tilde{O}_3)$

Таблица 9

Состав СФЗ на объекте

База товарно-материальных ценностей	Коммерческий узел учета нефти	Технологическая установка	Цех товарно-сырьевого производства	Воздушный бор	Биологические очистные сооружения
СКД		СКД	СКД	СКД	СКД
СОС		СВН	СВН	СВН	СОС
СО		СОС	СОС	СОС	СО
		СО	СО	СО	

Аналогично предыдущей модели по полученным итоговым коэффициентам можно сделать вывод о необходимых средствах защиты, которые должны быть установлены в каждой зоне объекта. В приведенном примере порог был определен равным 0,2. Элементы СФЗ, коэффициент которых меньше или равен 0,2, не устанавливаются (табл. 9).

Заключение

Описание функционирования СФЗ в виде взаимодействия множеств позволяет предложить состав комплекса инженерно-технических средств охраны, основываясь на экспертных знаниях. Соответственно, такой способ моделирования способствует определению варианта СФЗ объекта с целью выбора наилучшей стратегии его защиты.

Создание модели возможно с различными вариантами применения теорий множеств.

Результат расчетов каждой модели в различной степени способствует определению лучшей стратегии защиты объекта. Полученные в моделях коэффициенты соответствия множеств элементов СФЗ и зон объекта показывают уровень необходимости наличия того или иного средства защиты в конкретной зоне объекта, в совокупности определяя желаемый состав его СФЗ.

Во всех примерах была попытка использовать одинаковые наборы элементов множеств и экспертные знания. Различные результаты обусловлены отличающимися методами обработки исходных данных, а также уровнем использования знаний экспертов на каждом шаге расчетов. Предпочтителен способ моделирования, при котором экспертные данные используются в большей части расчетов и сильнее влияют на конечный результат.

Литература

1. *Боровский А. С., Тарасов А. Д.* Использование методов нечеткой логики в задачах моделирования процессов

при проектировании систем физической защиты распределенных объектов // Информационные системы и технологии. Май–июнь 2010. № 3 (59). С. 63–71.

2. *Кориунов Ю. М.* Математические основы кибернетики: Учеб. пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1980. 424 с., ил.
3. *Мелихов А. Н., Берштейн Л. С., Коровин С. Я.* Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. 272 с.
4. *Бояринцев А. В., Бражник А. Н., Зувев А. Г.* Проблемы антитерроризма: Категорирование и анализ уязвимости объектов. СПб.: ЗАО «НПП „ИСТА-Системс“», 2006. 252 с.
5. *Саати Т. Л.* Взаимодействие в иерархических системах // Техническая кибернетика. 1979. № 1. С. 68–84.

Боровский Александр Сергеевич. Доцент Оренбургского института путей сообщения — филиал СамГУПС (Самарский государственный университет путей сообщения). К. т. н. Окончил Тульское высшее артиллерийское инженерное училище в 1984 г. Количество печатных работ: 54. Область научных интересов: системы искусственного интеллекта, обнаружение и распознавание сигналов. E-mail: borovski@mail.ru

Тарасов Андрей Дмитриевич. Ст. преподаватель кафедры Оренбургского государственного аграрного университета. Окончил Оренбургский государственный аграрный университет в 2001 г. Количество печатных работ: 15. Область научных интересов: информационные технологии. E-mail: adtarasov@mail.ru