

# ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ОБЩЕЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ

А. С. Боровский, А. Д. Тарасов

*Оренбургский государственный университет*

Поступила в редакцию 02.10.2010 г.

**Аннотация:** Предлагается подход к созданию математической модели функционирования СФЗ как процесса взаимодействия множеств на основе теории обычных множеств, теории нечетких множеств и метода анализа иерархий.

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

**Annotation:** It is describing method to creation mathematical models of system of physical defence operation as a process of interaction of sets, basic on theory of sets, theory of fuzzy sets and method of analysis of hierarchies.

**Keywords:** set, fuzzy set, relation of sets, fuzzy relation, composition of relations, method of analysis of hierarchies Saaty.

## ВВЕДЕНИЕ

Необходимость математического моделирования функционирования систем физической защиты (СФЗ) обусловлена важностью оценки уязвимости и защищенности объекта. Под защищенностью понимается совокупность организационно-технических мероприятий направленных на обеспечение охраны объекта [1]. Оценка защищенности является важнейшим этапом концептуального проектирования СФЗ, с целью выработки наилучшей стратегии защиты и последующей оценки эффективности проектируемой СФЗ.

В настоящее время не существует единых подходов к решению данной проблемы, на что указывает достаточное количество публикаций [2, 3, 4, 5 и др.]. Например, в [2] анализ уровня защищенности проводится с помощью логико-вероятностного метода (данный метод широко применяется для анализа причин отказов технических систем и прогнозирования развития аварий [6]), основу которого составляют операции над функциями булевой алгебры и теория вероятности. Однако для его реализации необходимы сложные математические расчеты с применением специализированных программных комплексов. В статье [3] за оценку эф-

фективности решений по оснащенности объекта техническими средствами охраны принимается показатель, характеризующий степень оснащенности объекта техническими средствами по отношению к требуемой. Однако не решается качественный состав технических средств и их распределение по объекту.

Такое большое разнообразие подходов к оценке эффективности СФЗ предполагает разработку базовых математических моделей, т. е. математических объектов, исследование которых позволяет эффективно строить и изучать такую сложную систему, как СФЗ. Приведем перечень базовых математических 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 обоснов-

вание 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;

– модель нарушителя – является частью предыдущей модели категорирования объектов и предназначена для оценки уязвимости объекта, и соответственно для задания уровня защищенности объекта;

– модель оценки эффективности выполнения СФЗ своих функций: обнаружения, задержки и нейтрализации, в настоящее время реализована в виде программных комплексов [5]:

1) американские модели: EASI, ASSESS [5];

2) отечественные разработки: программный комплекс «СПРУТ», разработанный в ЗАО «НПП «ИСТА – Системс» (г. Санкт-Петербург); программный комплекс «Вега-2», разработанный ФГУП «СНПО «Элерон» (г. Москва) [7].

В данной статье представлен подход, позволяющий определить количественный и качественный состав технических средств защиты объекта в зависимости от предполагаемой угрозы на основе экспертно – аналитического метода количественных приближенных оценок. Используемые модели функционирования СФЗ находятся на стыке нескольких теорий: теории обычных множеств, теории нечетких множеств, теории нечетких графов и метода анализа иерархий Т. Саати.

## 1. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СФЗ НА ОСНОВЕ ЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ С ЧЕТКИМИ СООТВЕТСТВИЯМИ

### 1.1. ОПИСАНИЕ МНОЖЕСТВ МОДЕЛИ И ИХ СООТВЕТСТВИЙ

Математическое представление модели (рисунок 1) включает семь абстрактных множеств:

– три основных: множество угроз  $X$ ; модель объекта защиты, представлена в виде множества непересекающихся элементарных зон за-

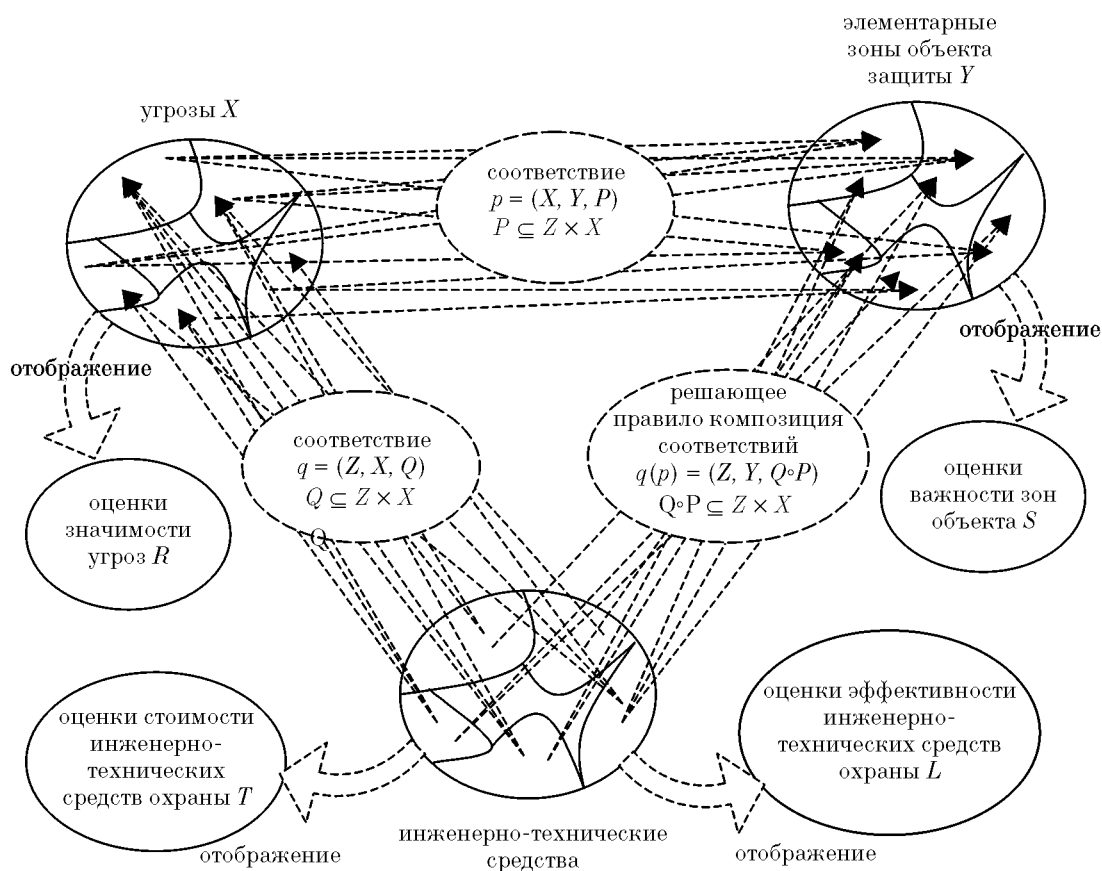


Рис. 1. Общая модель функционирования системы физической защиты

щиты, каждая из которых характеризуется инженерно-технической укрепленностью (свойство объекта, характеризующее способность противостоять действиям нарушителя); множество инженерно-технических средств охраны;

– и четыре дополнительных: множество оценок значимости угроз, множество оценок важности зон объекта, множество оценок эффективности инженерно-технических средств охраны, множество оценок стоимости инженерно-технических средств охраны.

1) Множество угроз  $X = \{x_i \mid i = 1, N\}$ , где  $x_i$  – вид угрозы направленной на объект защиты. Под угрозой можно понимать проявленное в любой форме намерение нанести физический, материальный или иной вред [4]. Например: диверсия, терроризм, хищение материальных ценностей и т.д.

2) Множество элементарных зон объекта защиты  $Y = \{y_j \mid j = 1, V\}$ , где  $y_j$  – одна из элементарных зон объекта, которая является целью определенной угрозы. Например, для нефтеперерабатывающего завода (НПЗ) такой элементарной зоной может быть база товарно-материальных ценностей, коммерческие узлы учета нефти и т.д.

3) Множество инженерно-технических средств охраны  $Z = \{z_k \mid k = 1, M\}$ , где  $z_k$  – инженерно-техническое средство охраны, которое выполняет функцию полной или частичной блокировки угроз, например система контроля доступа, система телевизионного наблюдения, периметровая система охраны и т.д.

4) Множество оценок значимости угроз  $R = \{r_i \mid i = 1, N\}$ . В данном случае под «значимостью» понимают наибольшую вероятность реализации  $x_i$  угрозы для рассматриваемого объекта (в зависимости от вида объекта, месторасположения объекта, напряженности политической обстановки в регионе и т. п.). Отображение элементов множества  $X$  на элементы множества  $R$  осуществляется по аналитическим или экспертным оценкам, т.е. выполняется ранжирование и ограничение перечня угроз.

5) Множество оценок важности зон объекта  $S = \{s_j \mid j = 1, V\}$ . Под «важностью» в данном случае понимают оценку ущерба от реализации угроз на  $y_j$  зону объекта или «ценность» элементарной зоны, которая определяется характером деятельности объекта и характеризует априорную вероятность выбора нарушителем данной

зоны в качестве цели атаки. Отображение элементов множества  $Y$  в элементы множества  $S$  осуществляется по экспертным или аналитическим оценкам, т.е. выполняется ранжирование элементарных зон объекта.

6) Множество оценок эффективности инженерно-технических средств охраны  $L = \{l_k \mid k = 1, M\}$ . Здесь под «эффективностью» понимают степень выполнения  $z_k$  средством защиты своих функций по противодействию реализациям угроз. Отображение элементов множества  $Z$  на множество  $L$  осуществляется по экспертным или аналитическим оценкам.

7) Множество оценок стоимости инженерно-технических средств охраны  $T = \{t_k \mid k = 1, M\}$ . Под «стоимостью» здесь следует понимать финансовые затраты на приобретение, применение и эксплуатацию  $z_k$  средства охраны. Отображение элементов множества  $Z$  на множество  $T$  также осуществляется по экспертным или аналитическим оценкам.

Между тремя основными множествами, исходя из их физической природы, можно установить следующие соответствия:

– соответствие множества инженерно-технических средств охраны  $Z$  множеству угроз  $X$  представляется в виде множества  $Q \subseteq Z \times X$ , определяющего закон, который указывает: насколько эффективно блокируется каждый вид угрозы каждым средством охраны. Для одного инженерно-технического средства охраны будут определены  $N$  коэффициентов соответствия  $q_{ki}$  ( $i = 1, N$ ) – оценок эффективности предотвращения  $i$ -ой угрозы в зоне защищенной  $k$ -ым средством охраны;

– соответствие множества угроз  $X$  множеству зон объекта  $Y$ , представляется в виде множества  $P \subseteq X \times Y$ , определяющего закон, который указывает: насколько каждый вид угрозы вероятен для каждой зоны объекта. Для одной угрозы будут определены  $V$  коэффициентов соответствия  $p_{ij}$  ( $j = 1, V$ ) – оценок вероятности реализации  $i$ -ой угрозы по отношению к  $j$ -ой зоне объекта;

– соответствие множества средств охраны  $Z$  множеству зон объекта  $Y$ , представляется в виде множества  $F \subseteq Z \times Y$ , определяющего закон, который указывает: какие средства охраны будут более эффективно защищать определенную зону объекта в зависимости от нацеленных на зону угроз. Для каждого средства охраны необходимо получить  $V$  коэффициентов соот-

ветствия  $f_{kj}$  ( $j = 1, V$ ) – оценок необходимости защиты  $j$ -ой зоны объекта  $k$ -ым инженерно-техническим средством охраны.

## 1.2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОЗИЦИИ СООТВЕТСТВИЙ И МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

Решающее правило представляет собой композицию соответствий с тремя множествами: соответствие множества инженерно-технических средств охраны  $Z$  множеству угроз  $X - q = (Z, X, Q)$ ,  $Q \subseteq Z \times X$ ; соответствие множества угроз  $X$  множеству защищаемых зон объекта  $Y - p = (X, Y, P)$ ,  $P \subseteq X \times Y$ ; композиция соответствий  $q$  и  $p$  запишется в виде  $q(p) = (Z, Y, Q \circ P)$ ,  $Q \circ P \subseteq Z \times Y$  – есть распределение элементов множества  $Z$  на элементы множества  $Y$ , т.е. какое инженерно-техническое средство необходимо установить в конкретную защищаемую зону объекта [8].

Все соответствия и отображения, используемые в модели, определяются экспертно-аналитическим путем метода анализа иерархий Т. Саати [9]. При использовании этого метода проводятся парные сравнения элементов по отношению к их воздействию на общую для них характеристику.

Используемая шкала оценок метода анализа иерархий приведена в таблице 1.

Таблица 1

Смысл экспертных оценок в методе анализа иерархий

Шкала интенсивности	Качественные суждения
1	равная важность
3	умеренное превосходство одного над другим
5	существенное превосходство одного над другим
7	значительное превосходство одного над другим
9	очень сильное превосходство одного над другим
2, 4, 6, 8	соответствующие промежуточные значения

В рассматриваемой модели экспертные знания применяются для определения оценок эффективности предотвращения угроз средствами охраны –  $q_{ki}$ , оценок вероятности реализации угроз по отношению зонам объекта –  $p_{ij}$ , а также оценок значимости угроз –  $r_i$ , оценок

важности зон объекта –  $s_j$ , оценок эффективности инженерно-технических средств охраны –  $l_k$  и оценок стоимости инженерно-технических средств охраны –  $t_k$ .

## 1.3. ПРИМЕР РАСЧЕТОВ МОДЕЛИ

Приведем порядок действий для условного примера определения требуемого состава СФЗ защищаемого объекта.

В качестве объекта защиты был выбран НПЗ. Введенные в предыдущем пункте множества содержат следующие элементы:

Множество угроз:  $x_1$  – диверсия,  $x_2$  – терроризм,  $x_3$  – нарушение технологического процесса,  $x_4$  – хищение материальных ценностей,  $x_5$  – хищение информационных ценностей [4];

Множество защищаемых зон объекта:  $y_1$  – база товарно-материальных ценностей,  $y_2$  – коммерческий узел учета нефти,  $y_3$  – технологическая установка,  $y_4$  – цех товарно-сырьевого производства,  $y_5$  – водозабор,  $y_6$  – биологические очистные сооружения;

Множество инженерно-технических средств охраны:  $z_1$  – система контроля доступа (СКД),  $z_2$  – система видео наблюдения (СВН),  $z_3$  – система охранной сигнализации (СОС),  $z_4$  – физические барьеры (ФБ),  $z_5$  – силы охраны (СО) [4].

Находим оценки вероятности реализации угроз по отношению к  $y_1$  зоне объекта – коэффициенты соответствия  $p_{11}, p_{21}, p_{31}, p_{41}, p_{51}$ . Матрица парных сравнений для зоны «база товарно-материальных ценностей» показана в таблице 2. Коэффициенты определяются вычислением вектора приоритетов, по матрице парных сравнений следующим способом: суммировать элементы каждой строки и нормализовать делением каждой суммы на сумму всех элементов. Первый элемент результирующего вектора будет приоритетом первого объекта, второй – второго и т. д. [9].

В результате получаем оценки:

$$p_{11} = (1+1/2+5+1/3+5)/58,2413 = 0,2032;$$

$$p_{21} = (2+1+7+1/2+7)/58,2413 = 0,3005;$$

$$p_{31} = (1/5+1/7+1+1/9+1)/58,2413 = 0,0421;$$

$$p_{41} = (3+2+9+1+9)/58,2413 = 0,4121;$$

$$p_{51} = (1/5+1/7+1+1/9+1)/58,2413 = 0,0421.$$

Аналогично вычисляются: оценки вероятности реализации угроз по отношению ко всем

Таблица 2.

Матрица парных сравнений для определения оценок вероятности реализации угроз для зоны «база товарно-материальных ценностей»

	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

зонам объекта  $p_{ij}$  (результаты отображены в таблице 2); оценки эффективности предотвращения угроз средствами охраны  $q_{ki}$  (таблица 3); оценки значимости угроз:  $r_1 = 0,0979, r_2 = 0,0979, r_3 = 0,1856, r_4 = 0,3093, r_5 = 0,3093$ ; оценки важности зон объекта:  $s_1 = 0,0799, s_2 = 0,0452, s_3 = 0,2081, s_4 = 0,2081, s_5 = 0,1327, s_5 = 0,3258$ ; оценки эффективности инженерно-технических средств охраны:  $l_1 = 0,2222, l_2 = 0,2222, l_3 = 0,1284, l_4 = 0,0716, l_5 = 0,3556$ ; оценки стоимости инженерно-технических средств охраны:  $t_1 = 0,1630, t_2 = 0,2935, t_3 = 0,1630, t_4 = 0,0870, t_5 = 0,2935$ .

Согласно методу Саати для получения общей оценки каждого объекта, нужно умножить вес оценки этого объекта по некоторому критерию на вес этого критерия [9].

По полученным коэффициентам соответствий  $p_{ij}$  и  $q_{ki}$  рассчитываем следующие оценки:

$g_{ij}$  – оценка вероятности появления и реализации каждой угрозы по отношению ко всем зонам объекта с учетом оценок значимости угроз.

$$g_{ij} = p_{ij} \times r_j$$

где  $i$  – номер угрозы,  $j$  – номер зоны объекта.

$h_{ki}$  – оценка эффективности противодействия каждого инженерно-технического средства охраны по отношению ко всем видам угроз с учетом оценок эффективности средств охраны и оценок стоимости средств охраны.

$$h_{ki} = q_{ki} / t_k \times l_k$$

где  $k$  – номер средства охраны,  $i$  – номер угрозы.

Используется величина обратная оценке стоимости  $t_k$  т. к. предпочтение выбранного

средства охраны над другими будет тем выше чем меньше затраты на него. Выражение  $1 / t_k$  является оценкой «дешевизны» средства охраны.

Далее проводится расчет композиции соответствий. Произведение матриц коэффициентов  $p_{ij}$  соответствия множества угроз  $X$  множеству зон объекта  $Y$  и коэффициентов  $q_{ki}$  соответствия множества средств охраны  $Z$  множеству угроз  $X$  дает матрицу коэффициентов  $f_{kj}$  соответствия множества средств охраны  $Z$  множеству зон объекта  $X$ .

Произведение матриц осуществляется по формуле

$$f_{kj} = \sum_{i=1,N} (g_{ij} \times h_{ki})$$

Итоговые оценки  $o_{kj}$  – оценка эффективности защиты каждым инженерно-техническим средством охраны всех зон объекта с учетом оценок важности зон.

$$o_{kj} = f_{kj} \times s_j$$

где  $k$  – номер средства охраны,  $j$  – номер зоны объекта.

Результат отображен в таблице 5.

По полученным итоговым оценкам можно сделать вывод о необходимых инженерно-технических средствах охраны, которые должны быть установлены в каждой зоне объекта. Чем выше оценка средства охраны, тем выше необходимость установки данного средства. В каждой зоне нужно использовать только средства с высокой оценкой. Эксперты могут выбрать насколько высокой должна быть оценка, чтобы считать средство охраны необходимым для установки. В приведенном условном примере используем ограничение на величину оценки

Таблица 3

Оценки вероятности реализации угроз по отношению зонам объекта

	диверсия	терроризм	нарушение технологического процесса	хищение материальных ценностей	хищение информационных ценностей
база товарно-материальных ценностей	0,2032	0,3005	0,0421	0,4121	0,0421
коммерческий узел учета нефти	0,1682	0,1682	0,0566	0,0566	0,5504
технологическая установка	0,2126	0,1385	0,3093	0,3093	0,0303
цех товарно-сырьевого производства	0,2126	0,1385	0,3093	0,3093	0,0303
водозабор	0,3005	0,2032	0,4121	0,0421	0,0421
биологические очистные сооружения	0,3370	0,2359	0,0587	0,3370	0,0314

Таблица 4

Оценки эффективности предотвращения угроз средствами охраны

	диверсия	терроризм	нарушение технологического процесса	хищение материальных ценностей	хищение информационных ценностей
СКД	0,0659	0,0659	0,3376	0,3376	0,1929
СВН	0,0423	0,1220	0,1220	0,2212	0,4924
СОС	0,0963	0,1731	0,2841	0,4115	0,0350
ФБ	0,1714	0,0980	0,4311	0,2645	0,0350
СО	0,2305	0,2305	0,1294	0,3640	0,0455

Таблица 5

Оценки эффективности защиты каждым инженерно-техническим средством охраны всех зон объекта с учетом оценок важности зон

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

равное 0,0030. Если оценка средства охраны меньше указанного числа, то его эффективность считается низкой и такое средство не рекомендуется для установки. В итоге состав СФЗ на объекте будет следующий (таблица 6).

## 2. МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СФЗ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ СООТВЕТСТВИЙ ЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

### 2.1. НАБОР МНОЖЕСТВ МОДЕЛИ

В состав данной модели входит набор множеств подобный набору из предыдущей модели.

Состав СФЗ на объекте

база товарно-материальных ценностей	коммерческий узел учета нефти	технологическая установка	цех товарно-сырьевого производства	водозабор	биологические очистные сооружения
СКД	ФБ	СКД	СКД	СОС	СКД
СОС		СВН	СВН	ФБ	СВН
ФБ		СОС	СОС	СО	СОС
		ФБ	ФБ		ФБ
		СО	СО		СО

Перечислим их с указанием различий между моделями:

1) Множество угроз  $X = \{x_i \mid i = 1, N\}$ .

2) Множество обстановок  $T = \{t_e \mid e = 1, A\}$ .

Содержит рассматриваемые уровни политической обстановки в регионе, включающем в себя месторасположение объекта. Например, обстановка спокойная, напряженная, опасная.

3) Множество зон объекта  $Y = \{y_j \mid j = 1, L\}$ .

4) Множество ценностей зон объекта  $Q = \{q_u \mid u = 1, B\}$ . Содержит набор уровней ценностей зон объекта определяемых по возможным потерям. Например, ценность низкая, средняя, высокая.

5) Множество инженерно-технических средств охраны  $Z = \{z_k \mid k=1, M\}$ .

6) Множество эффективностей средств охраны  $G = \{g_v \mid v = 1, C\}$ . Содержит уровни противодействия средств охраны различным типам угроз. Например, эффективность низкая, средняя, высокая.

7) Множество стоимостей средств охраны  $S = \{s_w \mid w = 1, D\}$ . Содержит уровни затрат требуемых на установку и обслуживание средств охраны. Например затраты низкие, средние, высокие.

## 2.2. ОПИСАНИЕ НЕЧЕТКИХ СООТВЕТСТВИЙ

В данной модели можно определить следующие соответствия:

1) Соответствие множества средств охраны  $Z$  множеству угроз  $X$ , определяющееся нечетким множеством  $O1$  в  $Z \times X$ , по которому осуществляется нечеткое соответствие между  $Z$  и  $X$ . Функция принадлежности  $\mu_{O1}(z_k, x_i)$  будет указывать: насколько эффективно каждый вид угрозы будет блокироваться выбранным средством охраны. При этом  $\mu_{O1}(z_k, x_i) = 0$  означает, что угроза совершенно не блокируется (соответствия нет), а  $\mu_{O1}(z_k, x_i) = 1$  – угроза блокируется полностью.

Аналогично описываем следующие соответствия:

2) Соответствие множества угроз  $X$  множеству зон объекта  $Y$ , определяющееся нечетким множеством  $O2$  в  $X \times Y$ .

3) Соответствие множества средств охраны  $Z$  множеству зон объекта  $Y$ , определяющееся нечетким множеством  $O3$  в  $Z \times Y$ .

4) Соответствие множества угроз  $X$  множеству обстановок  $T$ , определяющееся нечетким множеством  $O4$  в  $X \times T$ .

5) Соответствие множества зон объекта  $Y$  множеству ценностей зон объекта  $Q$ , определяющееся нечетким множеством  $O5$  в  $Y \times Q$ .

6) Соответствие множества средств охраны  $Z$  множеству эффективностей средств охраны  $G$ , определяющееся нечетким множеством  $O6$  в  $Z \times G$ .

7) Соответствие множества средств охраны  $Z$  множеству стоимостей средств охраны  $S$ , определяющееся нечетким множеством  $O7$  в  $Z \times S$ .

По функции принадлежности нечеткого множества  $O4$  соответствия множества угроз  $X$  множеству обстановок  $T$  можно определить угрозы, которые должны быть исключены из множества угроз как невозможные или маловероятные. Такие угрозы имеют близкий к 0 коэффициент соответствия с текущим уровнем обстановки в регионе расположения объекта.

Аналогично можно исключить из набора переменных некоторые элементы множества зон объекта и множества инженерно-технических средств охраны – зоны с достаточно низкой ценностью, т. е. не требующие защиты и средства охраны с низкой эффективностью или с недопустимо высокими затратами на эксплуатацию.

## 2.3. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ МОДЕЛИ

Элементы множеств задавались аналогично первой модели. Были проведены расчеты ком-

позиции нечетких соответствий [10]. Полученные коэффициенты нечеткого соответствия множества средств охраны  $Z$  множеству зон объекта  $Y$  показаны в таблице 7. Аналогично предыдущему условному примеру по коэффициентам можно сделать вывод о необходимых средствах охраны, которые должны быть установлены в каждой зоне объекта. В данном примере ограничение на величину коэффициента определено равным 0,1. Элементы, с коэффициентом меньше или равным 0,1 не устанавливаются (таблица 8).

Таблица 7

Матричное задание нечеткого соответствия множества средств охраны  $Z$  множеству зон объекта  $Y$

	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$	$y_6$
$z_1$	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

ценностей, хищение информационных ценностей. Величина  $\mu_x(x)$  означает степень того, насколько данная угроза принадлежит множеству угроз объекту, т. е. насколько конкретный вид угрозы вероятен для рассматриваемого объекта.

Аналогично определяются остальные множества:

2) Множество «Политическая обстановка в регионе объекта»  $\tilde{T} = \{(\mu_T(t) / t)\}$ .

3) Множество «Защищаемые зоны объекта»  $\tilde{Y} = \{(\mu_Y(y) / y)\}$ .

4) Множество «Интегральные потери»  $\tilde{Q} = \{(\mu_Q(q) / q)\}$ .

5) Множество «Инженерно-технические средства охраны»  $\tilde{Z} = \{(\mu_Z(z) / z)\}$ .

6) Множество «Эффективности средств охраны»  $\tilde{G} = \{(\mu_G(g) / g)\}$ .

7) Множество «Стоимости средств охраны»  $\tilde{S} = \{(\mu_S(s) / s)\}$ .

### 3.2. СООТВЕТСТВИЯ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ МОДЕЛИ

1) Соответствие множества «инженерно-технические средства охраны»  $\tilde{Z}$  множеству «умышленные угрозы физической безопаснос-

Таблица 8

Состав СФЗ на объекте

база товарно-материальных ценностей	коммерческий узел учета нефти	технологическая установка	цех товарно-сырьевого производства	водозабор	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		

## 3. МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СФЗ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

### 3.1. НАБОР НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ МОДЕЛИ

1) Множество «Умышленные угрозы физической безопасности объекта».

Универсальное множество «Угрозы»  $X$ . Содержит все существующие виды угроз. Нечеткое множество  $\tilde{X} = \{(\mu_X(x) / x)\}$ , где  $x \in X$  соответствует нечеткому понятию «Умышленные угрозы физической безопасности объекта». В это множество могут входить нечеткие переменные: диверсия, терроризм, нарушение технологического процесса, хищение материальных

ти 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 охраны. При этом  $\mu_{O1}(z_k, x_i) \approx 0$  означает, что угрозу совершенно не нужно блокировать данным средством охраны, а  $\mu_{O1}(z_k, x_i) \approx 1$  – угрозу необходимо блокировать, используя данное средство охраны.

Аналогично определяем остальные соответствия:

2)  $\tilde{O}2$  – соответствие множества  $\tilde{X}$  множеству  $\tilde{Y}$ .



- 3)  $\tilde{O}3$  – соответствие множества  $\tilde{Z}$  множеству  $\tilde{Y}$ .
- 4)  $\tilde{O}4$  – соответствие множества  $\tilde{X}$  множеству  $\tilde{T}$ .
- 5)  $\tilde{O}5$  – соответствие множества  $\tilde{Y}$  множеству  $\tilde{Q}$ .
- 6)  $\tilde{O}6$  – соответствие множества  $\tilde{Z}$  множеству  $\tilde{G}$ .
- 7)  $\tilde{O}7$  – соответствие множества  $\tilde{Z}$  множеству  $\tilde{S}$ .

### 3.3. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ МОДЕЛИ

Для определения элементов нечетких множеств применялся метод анализа иерархий Т. Саати. Например, множество «Умышленные угрозы физической безопасности объекта» содержит 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 множества  $\tilde{Z}$  множеству  $\tilde{Y}$  в виде графа показано на рис. 2. Элементы, с коэффициентом меньше или равным 0,2, не устанавливаются (таблица 9).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описание функционирования СФЗ в виде взаимодействия множеств позволяет предложить состав комплекса инженерно-технических средств охраны, основываясь на экспертных знаниях. Создание модели возможно с различными вариантами применения теории множеств.

Полученные в моделях коэффициенты соответствия множества инженерно-технических средств охраны и множества зон объекта показывают уровень необходимости наличия того или иного средства охраны в каждой зоне объекта, в совокупности определяя желаемый состав 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, в котором экспертные данные используются в большей части расчетов и сильнее влияют на конечный результат.

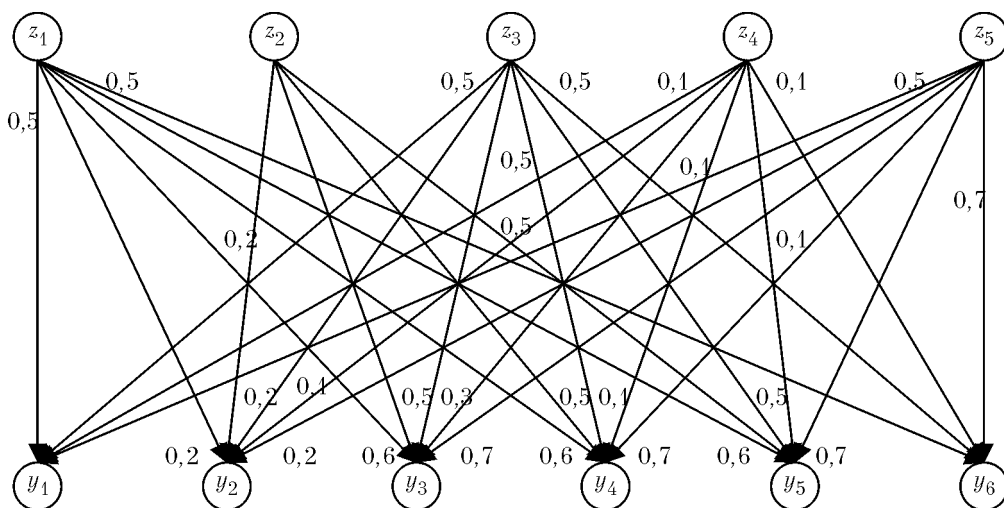


Рис. 2. Графическое задание нечеткого соответствия множества средств охраны множеству зон объекта

Таблица 9

Состав СФЗ на объекте

база товарно-материальных ценностей	коммерческий узел учета нефти	технологическая установка	цех товарно-сырьевого производства	водозабор	биологические очистные сооружения
СКД		СКД	СКД	СКД	СКД
СОС		СВН	СВН	СВН	СОС
СО		СОС	СОС	СОС	СО
		СО	СО	СО	

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бояринцев А. В.* Проблемы антитерроризма: Категорирование и анализ уязвимости объектов / А. В. Бояринцев, А. Н. Бражник, А. Г. Зуев. – СПб.: ЗАО «НПП «ИСТА-Системс», 2006. – 252 с.
  2. *Панин О. А.* Анализ безопасности интегрированных систем защиты: логико-вероятностный подход / Специальная техника, № 5, 2004 г.
  3. *Радаев Н.* Приближенные оценки защищенности объектов от террористических действий / Н. Радаев // БДИ, №3(72) май–июнь 2007 г.
  4. *Иванов В.* Осведомлен и очень опасен... Оценка эффективности технических решений по обеспечению безопасности промышленных объектов от вторжения / В. Иванов // БДИ №4(61) сентябрь 2005 г.
  5. *Гарсия М.* Проектирование и оценка систем физической защиты / М. Гарсия ; пер. с англ. В. И. Воропаева, Е. Е. Зудина и др. – М. : Мир, АСТ – 386 с.
  6. *Рябинин И. А.* Надежность и безопасность структурно-сложных систем / И. А. Рябинин. – СПб. : Политехника, 2000.
  7. *Тарасов Ю.* Специализированные программные комплексы / Ю. Тарасов // БДИ №3 (78) май–июнь 2008 г.
  8. *Коршунов Ю. М.* Математические основы кибернетики : учеб. пособие для вузов / Ю. М. Коршунов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергия, 1980. – 424 с., ил.
  9. Саати Т.Л. Взаимодействие в иерархических системах / Т. Л. Саати // Техническая кибернетика. 1979. №1. С. 68–84.
  10. *Мелихов А. Н.* Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой / А. Н. Мелихов, Л. С. Берштейн, С. Я. Коровин. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 272 с
- Боровский Александр Сергеевич** – доцент кафедры вычислительной техники Оренбургского государственного университета. Тел. (3532) 40-09-50. E-mail: borovski@mail.ru.
- Тарасов Андрей Дмитриевич** – старший преподаватель кафедры автоматизированные системы обработки информации и управления Оренбургского государственного университета. Тел. (3532) 77-07-79. E-mail: adtarasov@mail.ru.
- Borovski Alexander Sergeevich** – Assistant professor of Computing machinery department. State university of Orenburg. Tel. (3532) 40-09-50. E-mail: borovski@mail.ru
- Tarasov Andrei Dmitrievich** – gr. teacher of Automated systems of information processing and control department. State agrarian university of Orenburg. Tel. (3532) 77-07-79. E-mail: adtarasov@mail.ru.