

# Управление рисками и безопасностью

## Разработка и исследование математических методов обработки нечеткой информации в задаче оценки защищенности потенциально опасных объектов

А. Д. ТАРАСОВ

**Аннотация.** Предлагается методика поддержки принятия решения для автоматизированного проектирования системы физической защиты потенциально опасных объектов. Методика основана на последовательном применении математических методов, с применением процедур обработки экспертных знаний в условиях неточности и неопределенности.

**Ключевые слова:** *DFD-диаграммы, метод анализа иерархий, алгоритм Дейкстры, лингвистическая переменная,  $\alpha$ -уровневый принцип.*

### Введение

Потенциально опасными являются объекты, реализация угроз на которых может привести к возникновению чрезвычайных ситуаций с социально-экономическими последствиями, и задача обеспечения безопасности таких объектов является важнейшей. Эффективность проектирования систем физической защиты (СФЗ) потенциально опасных объектов зависит от качества экспертных знаний и методики их обработки. В задаче принятия решения о составе СФЗ самым сложным и плохо формализуемым этапом, требующим применения процедур, которые используют знания экспертов, является концептуальное проектирование, под которым понимается анализ защищенности объекта, разработка практических рекомендаций по созданию СФЗ, выбор варианта и состава инженерно-технических средств охраны (ИТСО).

Как показывает практика, оценка показателя защищенности объекта инженерно-техническими средствами охраны представляет наибольшую сложность, что подтверждается существованием нескольких подходов (моделей) к оценке данного показателя в ряде источников [1, 2]. Кроме того, при проектировании СФЗ эксперты могут только прогнозировать или предугадывать большую часть входных данных. Подобные данные представляют собой некоторые лингвистические формы, для операций над которыми требуется, например, аппарат нечетких величин.

В данной работе предлагается методика оценки защищенности объекта, позволяющая определить, насколько проектируемая инженерно-техническая защита будет соответствовать требованиям защищенности для выбранного объекта. Методика основана на последовательном применении математических методов, в частности методов обработки экспертных знаний в условиях неточности и неопределенности.

## 1. Определение критериев защищенности

Введем определение показателя качества защищенности  $P_{итз}$  — инженерно-техническая защищенность объекта. Равенство показателя  $P_{итз}$  нулю означает полное отсутствие инженерно-технической защиты. Равенство единице означает, что инженерно-техническая защита полностью выполняет свои функции, т. е. противодействует нарушителям на уровне, соответствующем требуемому для данного объекта. Если инженерно-техническая защита оказалась выше требуемой, то значение  $P_{итз}$  будет превышать 1. Таким образом, диапазон значений показателя  $[0, \infty)$ , однако варианты, при которых значение становится больше числа 1, рассмотрению не подлежат, так как превышение требуемого уровня защищенности экономически нецелесообразно и является недостатком проекта инженерно-технической защиты.

Определим критерии, от которых зависит показатель качества защищенности.

$P_{итз} = F(\alpha_{осн\ ij}; P_{стр\ ij})$ , где  $\alpha_{осн\ ij}$  — степень оснащённости ИТСО  $j$ -го пути к  $i$ -му критическому элементу,  $P_{стр\ ij}$  — мера структурной защищенности  $j$ -го пути к  $i$ -му критическому элементу.

Критические элементы (КЭ) — уязвимые части объекта, включая элементы системы его физической защиты, в отношении которых в силу их недостаточной защищенности или устойчивости могут быть спланированы и успешно реализованы нарушителем несанкционированные действия.

$\alpha_{осн\ ij} = N_{ij} / N_{ij}^T$ , где  $N_{ij}$  — фактическое количество установленных средств защиты на  $j$ -том пути к  $i$ -тому КЭ.

$N_{ij} = \sum N_{ij}^k$ , где  $N_{ij}^k$  — фактическое количество установленных средств защиты  $k$ -того типа на  $j$ -том пути к  $i$ -тому КЭ.

$N_{ij}^T$  — требуемое количество средств защиты на  $j$ -том пути к  $i$ -тому КЭ.

$N_{ij}^{Tk} = \sum N_{ij}^{Tk}$ , где  $N_{ij}^{Tk}$  — требуемое количество установленных средств защиты  $k$ -того типа на  $j$ -том пути к  $i$ -тому КЭ.

Степень оснащённости для  $i$ -того КЭ равняется

$$\alpha_{осн\ i} = \min_{j=1,n} \alpha_{осн\ ij}, \text{ где } n \text{ — количество путей к } i\text{-му}$$

критическому элементу.

Степень оснащённости всего объекта равна

$$\alpha_{осн} = \min_{i=1,m} \alpha_{осн\ i}, \text{ где } m \text{ — количество критиче-}$$

ских элементов.

Введем определение параметра  $p_{стр}$ .

Мерой структурной защищенности критического элемента является защищенность наиболее уязвимо-го пути от точки проникновения на объект до критического элемента, рассчитываемая через произведе-ние  $p_{стр} = p_{обн} \times p_{зад}$ , где  $p_{обн}$  — вероятность обнару-

жения нарушителя на всем пути и  $p_{зад}$  — вероят-ность задержки нарушителя на данном пути. Вероятности зависят от эффективности работы техниче-ских средств обнаружения (датчики движения, ви-деокамеры) и средств задержки (физические барье-ры, двери с замками, системы контроля доступа). Таким образом,  $p_{стр}$  покажет вероятность того, что при попытке проникнуть по самому уязвимому пути к КЭ нарушитель будет обнаружен и задержан с по-мощью ИТСО. Вероятности будем представлять в виде нечетких величин.

Меру структурной защищенности КЭ и всего объекта определяем по полученным значениям  $p_{стр\ ij}$  следующим способом.

Мера структурной защищенности для  $i$ -того КЭ равняется

$$P_{cmp\ i} = \min_{j=1,n} P_{cmp\ ij}, \text{ где } n \text{ — количество путей к}$$

$i$ -му критическому элементу.

Мера структурной защищенности всего объекта равна

$$P_{cmp} = \min_{i=1,m} P_{cmp\ i}, \text{ где } m \text{ — количество критиче-}$$

ских элементов.

Определим вид зависимости

$$P_{итз} \text{ от } \alpha_{осн} \text{ и } P_{итз} \text{ от } p_{стр}.$$

Для зависимости  $P_{итз}(\alpha_{осн})$  выявим обязательные (ключевые) точки графика функции. При  $\alpha_{осн}$  равной 0 показатель  $P_{итз}$  равен  $P_{и}$ , где  $P_{и}$  означает мини-мально возможный уровень защищенности объекта, который обеспечивается только его инженерной за-щищенностью (прочностью дверей, окон, стен и т. п.). При  $\alpha_{осн}$  равной 1  $P_{итз}$  равен 1. Если  $\alpha_{осн} > 1$  (оснащённость выше требуемой), то  $P_{итз} > 1$  (уровень инженерно-технической защиты выше требу-емого для данного объекта).

Очевидно, и это подтверждают результаты моде-лирования с помощью программных средств, что за-висимость  $P_{итз}(\alpha_{осн})$  монотонно возрастающая. Из простых функций такую зависимость достаточно хорошо аппроксимирует экспонента [2]

$P_{итз}(\alpha_{осн}) = 1 - \exp(-w \times (\alpha_{осн} + b))$ . График пока-зан на рис. 1.

Параметры  $b$  и  $w$  зависимости  $P_{итз}(\alpha_{осн})$  можно определить через ключевые точки графика  $\alpha_{осн} = 0$ ,  $P_{итз} = P_{и}$  и  $\alpha_{осн} = 1$ ,  $P_{итз} = 1$ , используя математиче-ские преобразования.

**Первая точка:**

$$P_{и} = 1 - \exp(w \times (0 + b)); \exp(w \times b) = 1 - P_{и}; \\ w \times b = \ln(1 - P_{и}); \\ w = 1 - \ln(1 - P_{и}).$$

**Вторая точка:**

$$1 = 1 - \exp(w \times (1 + b)); \\ \exp(w \times (1 + b)) = 0; w \times (1 + b) = 1; \\ b = -1 + 1/w; b = -1 + 1/(1 - \ln(1 - P_{и})).$$

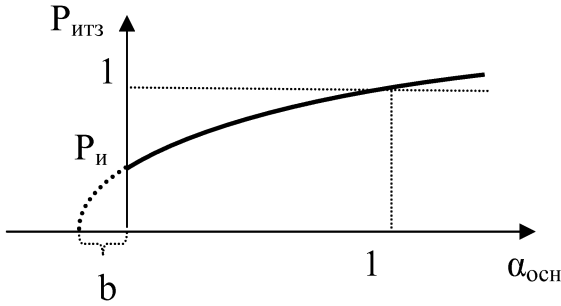


Рис. 1. График зависимости  $P_{итз}(\alpha_{осн})$

Таким образом, параметры  $b$  и  $w$  вычисляются через значение  $P_{и}$  — инженерную защищенность объекта, которая определяется экспертно.

Зависимость  $P_{итз}(p_{стр})$  также монотонно возрастающая. Минимальное значение  $p_{стр}$  равно 0, так как на объекте могут полностью отсутствовать средства обнаружения, и тогда  $p_{обн}$  равняется 0 и  $p_{стр}$  как произведение  $p_{обн} \times p_{зад}$  равняется 0.

При  $p_{стр}$  равной 0  $P_{итз}$  равна 0. Если  $p_{стр}$  равна требуемой —  $p_{стр}^T$ , то  $P_{итз}$  равна 1. Значение  $p_{стр}^T$  всегда меньше единицы, так как если требуемая вероятность обнаружения и задержки будет равна 1, то такое условие невыполнимо при любом уровне ИТСО и при заданной  $p_{стр}^T = 1$  поиск варианта ИТСО является некорректно поставленной задачей.

Если  $p_{стр}$  больше  $p_{стр}^T$ , то  $P_{итз}$  также больше 1. Так как  $P_{стр} = P_{обн} \times P_{зад}$  (произведение вероятностей), то максимально возможное (недостижимое в реальности) значение  $p_{стр} = 1$ . При  $p_{стр} = 1$  очевидно  $P_{итз} = \infty$  (бесконечно защищенный, абсолютно неуязвимый для нарушителей объект). На графике прямая  $p_{стр} = 1$  будет являться асимптотой функции  $P_{итз}(p_{стр})$ .

Функцию определяем как гиперболическую зависимость  $P_{итз}(p_{стр}) = -v / (p_{стр} - 1) - a$ , это подтверждают результаты моделирования.

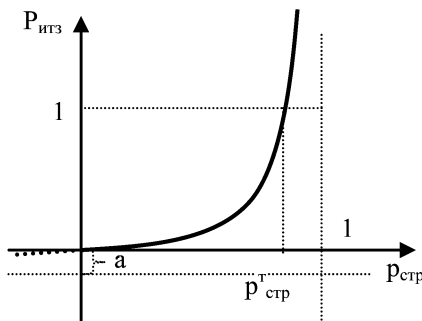


Рис. 2. График зависимости  $P_{итз}(p_{стр})$

Вычисляем параметры зависимости через ключевые точки графика:

**Первая точка:**

$$p_{стр} = 0, P_{итз} = 0; \\ 0 = -v / (0-1) - a; v = a.$$

**Вторая точка:**

$$p_{стр} = 1, P_{итз} = 1; \\ 1 = -a / (p_{стр}^T - 1) - a; -(1 + a) / a = 1 / (p_{стр}^T - 1); \\ -1/a - 1 = 1 / (p_{стр}^T - 1); \\ a = 1 / p_{стр}^T - 1.$$

Параметры  $a$  и  $v$  равны между собой и вычисляются через значение  $p_{стр}^T$  — требуемую структурную защищенность, определяемую экспертно.

Таким образом для вычисления  $P_{итз}$  — инженерно-технической защищенности объекта необходимо найти значения вышеописанных критериев  $\alpha_{осн}, p_{стр}$ .

Далее рассмотрим методы их определения и примеры.

## 2. Определение степени оснащенности ИТСО

### 2.1. Понятие критерия значимости средств защиты

Используемые типы средств защиты опишем в виде точек контроля:

- точка обнаружения (ТО) — это техническое средство, автоматически подающее сигнал тревоги при несанкционированном проникновении в зону защиты.
- точка доступа (ТД) — это техническое средство, позволяющее осуществлять контроль прохода через зону защиты путем идентификации личности.
- точка видеонаблюдения (ТВ) — это техническое средство, дающее возможность визуально оценивать обстановку в зоне защиты; сигнал тревоги подает оператор в случае предполагаемой угрозы несанкционированного проникновения.

Каждое из установленных средств защиты вносит различный вклад в степень оснащенности. Следовательно, необходимо использовать критерий значимости для типов средств защиты. Значимость средства защиты зависит от базовой модели нарушителя.

С учетом критерия значимости средств защиты степень оснащенности ИТСО  $j$ -го пути к  $i$ -му критическому элементу равняется

$$\alpha_{осн ij} = \sum (N_{ij}^k * S_i) / \sum (N_{ij}^{Tk} * S_i),$$

где  $S_i$  — критерий значимости средств защиты, защищающих  $i$ -ый КЭ.

Значимость средства защиты зависит от следующих критериев:

- возможности средства по обнаружению несанкционированного проникновения;
- возможности средства по затруднению перемещения нарушителей на территории объекта;
- возможности средства по ограничению доступа в охраняемые зоны объекта;
- возможности средства по распознаванию нарушителя.

Для определения значимости используем метод нечеткого многокритериального анализа вариантов [3].

В этом методе критерии рассматриваются как нечеткие множества, которые заданы на универсальном множестве альтернатив с помощью функций принадлежности. Функции принадлежности нечетких множеств определяются методом Саати по экспертным парным сравнениям альтернатив.

Представляем критерии  $F_u$  нечеткими множествами на универсальном множестве типов средств защиты  $C_i$ , где  $i=1...m$ :

$$\tilde{F}_u = \{ \mu_{F_u}(C_1) / C_1, \mu_{F_u}(C_2) / C_2, \dots, \mu_{F_u}(C_m) / C_m \}.$$

Эксперты проводят парные сравнения для средств защиты по каждому критерию. Пример вопроса к экспертам: Какой тип средств защиты имеет большие возможности по обнаружению несанкционированного проникновения по сравнению с остальными?

Например, результирующий вектор матрицы парных сравнений: 0,4; 0,3; 0,3 соответственно  $F_1 = \{0,4/C_1, 0,3/C_2, 0,3/C_3\}$ .

Аналогично экспертам задаются вопросы вида: Какой тип средств защиты имеет большие возможности по затруднению перемещения нарушителей на территории объекта? Какой тип средств защиты имеет большие возможности по ограничению доступа в охраняемые зоны объекта? Какой тип средств защиты имеет большие возможности по распознаванию нарушителя?

Далее из полученных значений критериев каждого типа средств защиты определяем значимость. Опираемся на принцип Беллмана—Заде [4]. Нечеткое решение представляет собой пересечение частных критериев:

$$\begin{aligned} \tilde{D} &= \tilde{F}_1^{\alpha_1} \cap \tilde{F}_2^{\alpha_2} \cap \dots \cap \tilde{F}_h^{\alpha_h} = \\ &= \{ \min_{u=1,h}(\mu_{F_u}^{\alpha_u}(C_1)) / C_1, \min_{u=1,h}(\mu_{F_u}^{\alpha_u}(C_2)) / C_2, \dots, \\ &\min_{u=1,h}(\mu_{F_u}^{\alpha_u}(C_m)) / C_m \}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\alpha_u$  — коэффициент относительной важности критерия  $F_u$ ,  $\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_u = 1$ . Показатель степени  $\alpha_u$  концентрирует функцию принадлежности нечеткого множества в соответствии с важностью критерия  $F_u$ . Коэффициенты относительной важности критериев

также определяются методом парных сравнений Саати.

Эксперты проводят парные сравнения критериев по важности. Важность критериев будет зависеть от базовой модели нарушителя рассматриваемого КЭ.

Например, по матрице парных сравнений для модели нарушителя террористическая группа получен результирующий вектор 0,3; 0,3; 0,1; 0,3 соответственно  $\alpha_1=0,3; \alpha_2=0,3; \alpha_3=0,1; \alpha_4=0,3$ . Далее по формуле (1) вычисляем уровень значимости.

Результат, например:  $\{0,851/S_1, 0,612/S_2, 0,533/S_3\}$ .

## 2.2. Процесс определения требуемого уровня защищенности

Для определения требуемого количества средств защиты необходимо выявить критические элементы объекта и для каждого КЭ оценить требуемый уровень защищенности через анализ производственно-технологического процесса.

Последовательность действий при решении данной задачи следующая:

- 1) Определяем критические элементы объекта. Эксперты оценивают зоны (потенциально опасные участки) по степени потенциальной опасности — по количеству пострадавших в результате реализации угрозы террористического акта (ТА).
- 2) Определяем базовую модель нарушителя для каждого КЭ. Эксперты выбирают базовую модель нарушителя из следующих вариантов:
  - Внешний первого типа — террористическая группа (ТГ) численностью 5–12 человек;
  - Внешний второго типа — малочисленная группа лиц (2–4 человека), групповой нарушитель (ГН), имеющий целью совершение ТА;
  - Внешний третьего типа — одиночный нарушитель (ОН), имеющий целью совершение ТА;
  - Внешний четвертого типа — одиночный нарушитель, имеющий целью хищение материальных ценностей;
  - Внутренний первого типа — работник объекта (специалист), имеющий санкционированный доступ на территорию объекта;
  - Внутренний второго типа — работник охраны объекта.
- 3) Определяем привлекательность КЭ для совершения террористического акта. Привлекательность КЭ для ТА зависит от следующих критериев:

- доступность;
- степень уязвимости;
- приемлемость риска;
- степень последствий ТА.

Аналогично поиску уровней значимости средств защиты используем метод нечеткого многокритериального анализа вариантов.

Представляем критерии  $G_u$  нечеткими множествами на универсальном множестве критических элементов  $K_i$ , где  $i=1 \dots m$ :

$$\tilde{G}_u = \{ \mu_{G_u}(K_1) / K_1, \mu_{G_u}(K_2) / K_2, \dots, \mu_{G_u}(K_m) / K_m \}.$$

Эксперты проводят парные сравнения для КЭ по каждому критерию, отвечая на вопросы вида: Какой участок более доступный по сравнению с остальными?

Например, результирующий вектор матрицы парных сравнений КЭ по критерию «доступность»: 0,3; 0,3; 0,2; 0,2 соответственно

$$G_1 = \{0,3/K_1, 0,3/K_2, 0,2/K_3, 0,2/K_4\}.$$

Аналогично: Какой элемент более уязвимый по сравнению с остальными?

Какой участок менее рискованный для нарушителей по сравнению с остальными?

Какой участок имеет большую степень последствий по сравнению с остальными?

Далее из полученных значений критериев каждого КЭ определяем привлекательность КЭ для ТА следующим способом:

Нечеткое решение представляет собой пересечение частных критериев:

$$\begin{aligned} \tilde{D} &= \tilde{G}_1^{\alpha_1} \cap \tilde{G}_2^{\alpha_2} \cap \dots \cap \tilde{G}_h^{\alpha_h} = \\ &= \{ \min_{u=1,h}(\mu_{G_u}^{\alpha_u}(K_1)) / K_1, \min_{u=1,h}(\mu_{G_u}^{\alpha_u}(K_2)) / K_2, \dots, \\ &\min_{u=1,h}(\mu_{G_u}^{\alpha_u}(K_m)) / K_m \} \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\alpha_u$  — коэффициент относительной важности критерия  $G_u$ ,  $\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_h = 1$ . Показатель степени  $\alpha_u$  концентрирует функцию принадлежности нечеткого множества в соответствии с важностью критерия  $G_u$ . Коэффициенты относительной важности критериев также определяются методом парных сравнений Саати.

Например, результирующий вектор матрицы парных сравнений критериев по важности: 0,3; 0,2; 0,2; 0,3 соответственно:  $\alpha_1=0,3$ ;  $\alpha_2=0,2$ ;  $\alpha_3=0,2$ ;  $\alpha_4=0,3$ .

Далее по формуле (2) вычисляем уровень привлекательности. Результат, например:  $\{0,785/K_1, 0,761/K_2, 0,653/K_3, 0,422/K_4\}$ .

4) Определяем требуемый уровень защищенности для каждого КЭ.

Используем рекомендации, предназначенные для применения в организациях промышленности и энергетики, находящихся в сфере ведения Минпромэнерго России и подведомственных ему федеральных агентств, при организации работ по контролю, анализу и оценке состояния системы физической защиты объекта, а также для разработки мероприятий по совершенствованию СФЗ объекта (таблица 1).

Также необходимо учитывать влияние КЭ на соседние согласно производственно-техническому процессу объекта. При непосредственном влиянии КЭ на другой критический элемент, требуемый уровень защищенности должен устанавливаться на одну ступень выше.

Таблица 1

Рекомендации по требуемым уровням защищенности

| Потенциальная опасность | Модель нарушителя | Привлекательность для совершения ТА | Требуемый уровень защищенности |
|-------------------------|-------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| высокая                 | ТГ                | высокая                             | I                              |
| высокая                 | ТГ, ГН            | средняя                             | I                              |
| высокая                 | ТГ, ГН            | низкая                              | I                              |
| средняя                 | ТГ, ГН, ОН        | высокая                             | II                             |
| средняя                 | ТГ, ГН, ОН        | средняя                             | II                             |
| средняя                 | ТГ, ГН, ОН        | низкая                              | III                            |
| низкая                  | ГН, ОН            | высокая                             | IV                             |
| низкая                  | ОН                | средняя                             | V                              |
| низкая                  | ОН                | низкая                              | V                              |

### 2.3. Пример определения требуемого уровня защищенности

В качестве примера рассмотрим модельный объект, на котором синтезируются химические вещества. На территории располагаются производственные корпуса цехов (ПЦ), разгрузочно-погрузочная зона, склад сырья, склад горюче-смазочных материалов (ГСМ), материальные склады, объекты жизнеобеспечения (котельная, компрессорная станция), ремонтно-механический цех (РМЦ), строительный участок, административные здания. Для транспортирования готовой продукции на территорию объекта проведена железнодорожная ветка. Три контрольно-пропускных пункта (КПП) организуют санкционированный доступ на объект персоналу и посетителям, автомобильному транспорту и железнодорожному транспорту. На объекте организована защита по периметру: запретная зона с двумя сигнально-заградительными рубежами и телевизионными средствами наблюдения. Схема объекта показана на рис. 3.

Для оценки требуемых уровней защищенности построим две модели объекта. В моделях используем понятия зона и рубеж. Зона — часть территории объекта, представляющее собой ограниченное замкнутое пространство, имеющее физические границы. Рубеж — физический барьер (часть физической границы зоны, например: дверь, проходная) блокирующая проход из одной зоны в другую.

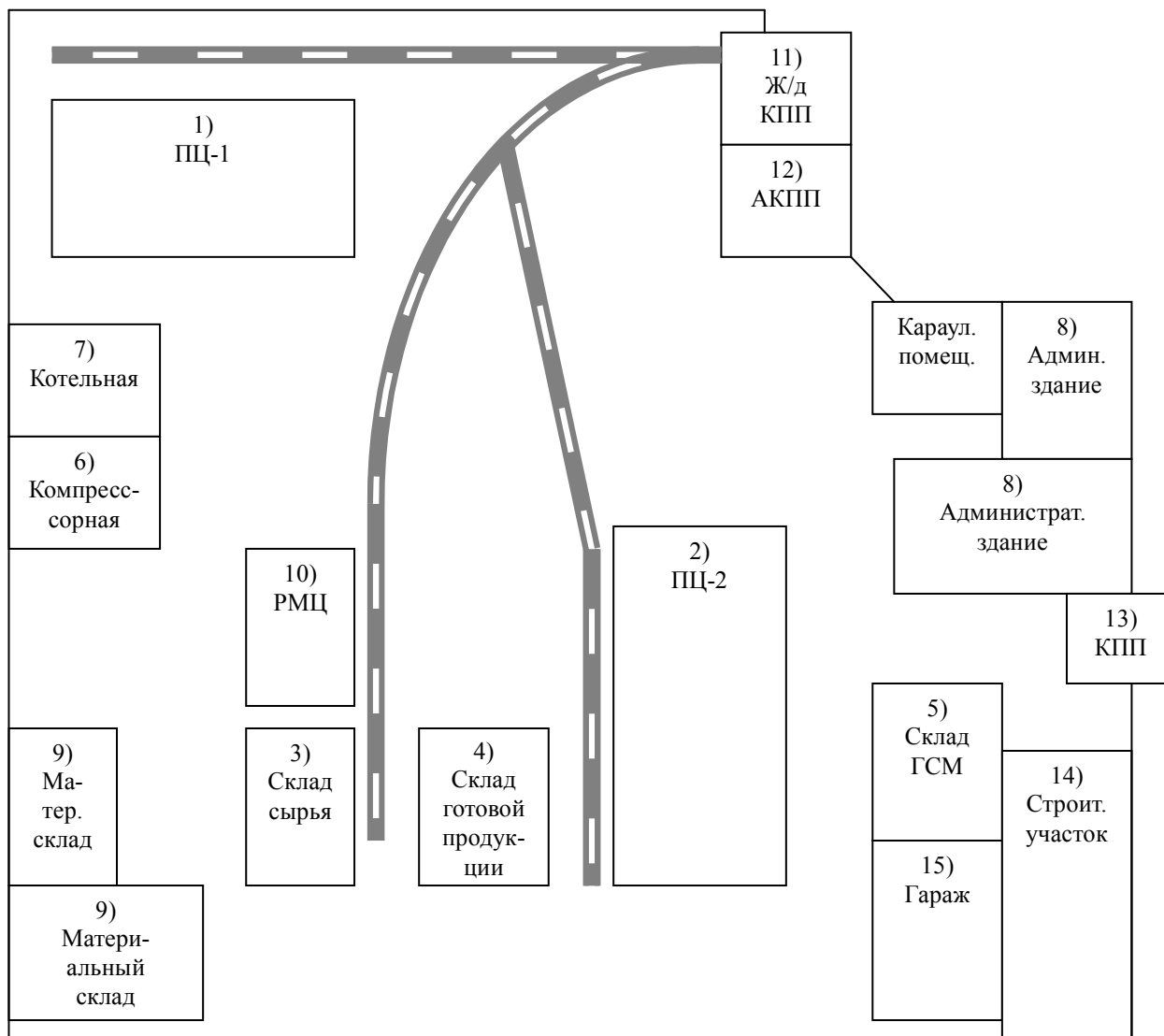


Рис. 3. Схема модельного объекта

Первая модель структурно-логическая, где зоны объекта связываются между собой рубежами. Каждый рубеж определяет способ (или возможность) перемещения из одной зоны в другую. Таким образом, связи в структурно-логической модели показывают, каким образом можно проникнуть в конкретную зону объекта (через преодоление каких рубежей).

Вторая модель, функциональная, требуется для анализа производственно-технологического процесса объекта. При построении функциональной модели производственно-технологического процесса используем стандарт DFD. Зоны объекта связываются между собой потоками данных производственно-технологических процессов. Связи в функциональной модели покажут наличие влияния КЭ друг на друга. На рис. 4 показана структурно-логическая модель объекта в

виде графа. Кроме зон объекта, указанных на схеме с номерами от 1 до 15, зоной № 16 на графе обозначим охраняемую территорию внутри защитного периметра (зону безопасности), а № 17 запретную зону защитного периметра.

Функциональная модель производственно-технологического процесса объекта отображена на рис. 5. Стрелки показывают направление влияния зон друг на друга. Зоны, не имеющие непосредственного влияния на другие (или влияющие незначительно), не связаны.

Определим необходимые характеристики зон объекта для выявления критических элементов (таблица 2).

На основе характеристик зон и связей в функциональной модели делается вывод о необходимом уровне защищенности каждого критического элемента.

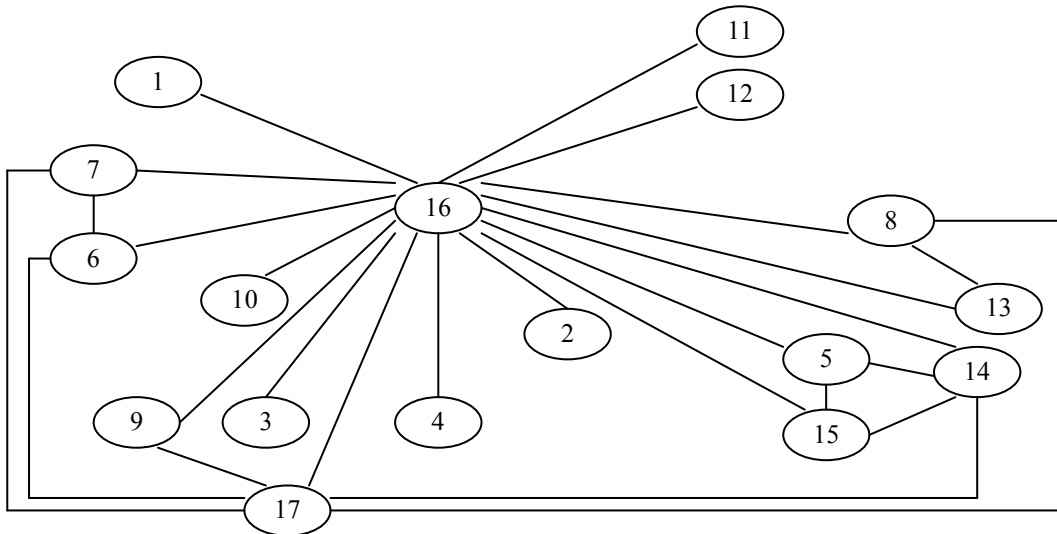


Рис. 4. Структурно-логическая модель объекта

Таблица 2

Характеристики зон модельного объекта

| Номер | Наименование                          | Потенциальная опасность | Модель нарушителя | Привлекательность для совершения ТА |
|-------|---------------------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------------------|
| 1     | ПЦ-1                                  | высокая                 | ТГ                | высокая                             |
| 2     | ПЦ-2                                  | высокая                 | ТГ                | высокая                             |
| 3     | Склад сырья                           | высокая                 | ТГ, ГН            | высокая                             |
| 4     | Склад готовой продукции               | высокая                 | ТГ, ГН            | высокая                             |
| 5     | Склад ГСМ                             | средняя                 | ГН, ОН            | средняя                             |
| 6     | Компрессорная станция                 | высокая                 | ГН, ОН            | средняя                             |
| 7     | Котельная                             | высокая                 | ГН, ОН            | средняя                             |
| 8     | Административное здание               | низкая                  | ГН, ОН            | средняя                             |
| 9     | Материальный склад                    | низкая                  | ОН                | низкая                              |
| 10    | Ремонтно-механический цех             | средняя                 | ОН                | низкая                              |
| 11    | Железнодорожный КПП                   | очень низкая            | ОН                | низкая                              |
| 12    | Автомобильный КПП                     | очень низкая            | ОН                | низкая                              |
| 13    | КПП                                   | очень низкая            | ОН                | низкая                              |
| 14    | Строительный участок                  | очень низкая            | ОН                | низкая                              |
| 15    | Гараж                                 | очень низкая            | ОН                | низкая                              |
| 16    | Территория внутри защитного периметра | очень низкая            | ОН                | низкая                              |
| 17    | Запретная зона защитного периметра    | очень низкая            | ОН                | низкая                              |

Уровень определяется согласно таблице 1 и зависит от заданного экспертами критерия «потенциальная опасность», от модели нарушителя, от параметра «привлекательность для совершения ТА», а также от наличия влияния на другой критический элемент.

На рис. 6 отображена структурно-логическая модель объекта с требуемыми уровнями защищенности, обозначенными римскими цифрами. Зоны без уровня защищенности не являются критическими элементами.

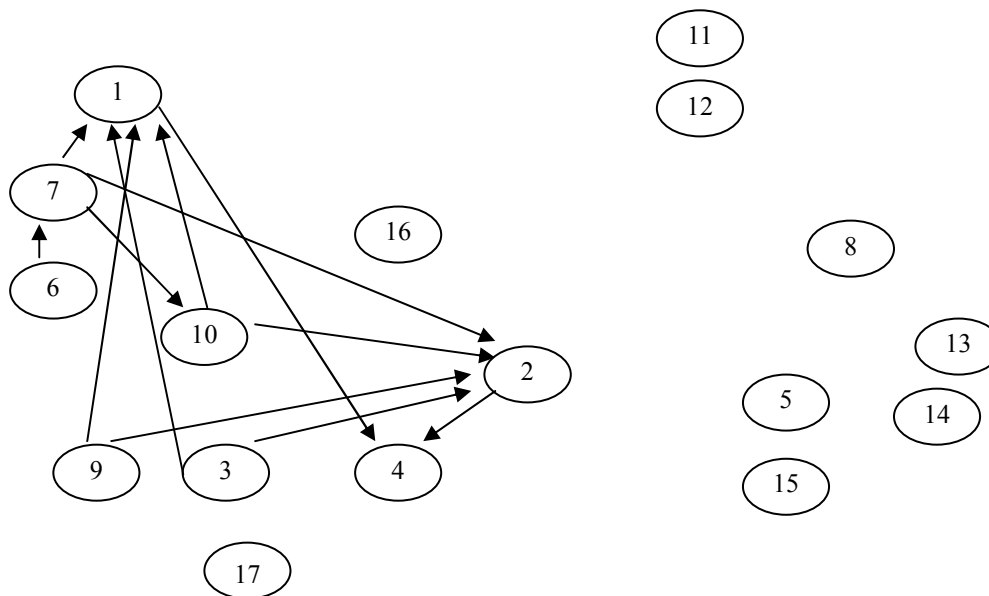


Рис. 5. Функциональная модель производственно-технического процесса объекта

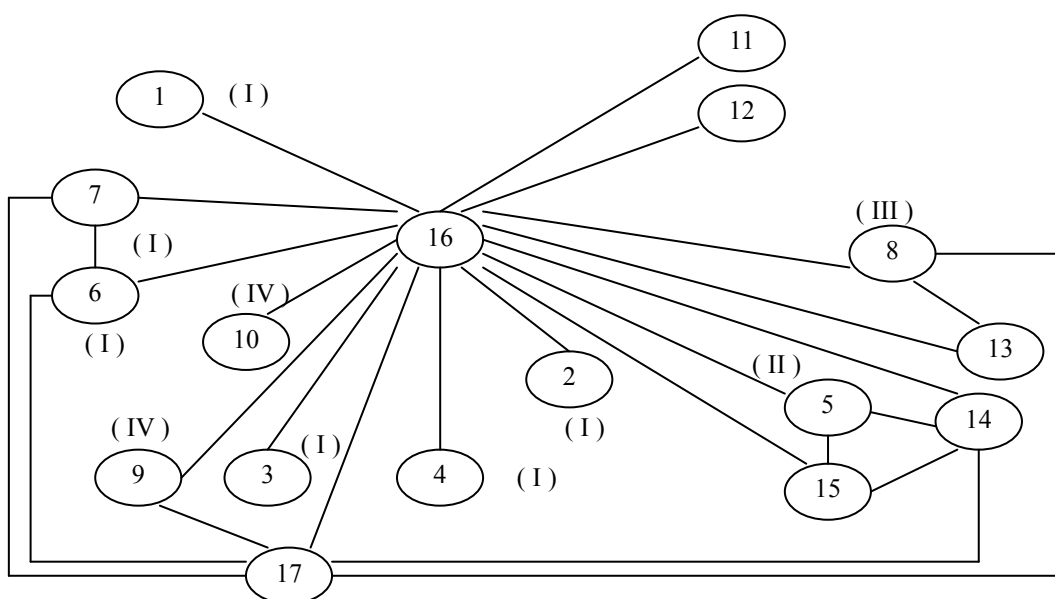


Рис. 6. Структурно-логическая модель объекта с требуемыми уровнями защищенности

### 3. Определение требуемого и текущего количества установленных средств защиты

Текущее количество установленных средств защиты определяется через экспертный анализ объекта.

Требуемое количество установленных средств защиты определим с помощью общей математической модели «угроза — объект — СФЗ» на основе нечетких гиперграфов [5].

Общая модель процесса функционирования системы физической защиты рассматривается как объединение трех составляющих элементов: 1) источники угроз — виды нарушителей; 2) объект — зоны, являющиеся потенциальными целями нарушителей; 3) средства защиты — инженерно-технические средства охраны. Три составляющих элемента модели представлены в виде нечетких гиперграфов, и их взаимодействие рассматривается как композиция гиперграфов. Определение степеней взаимодействия



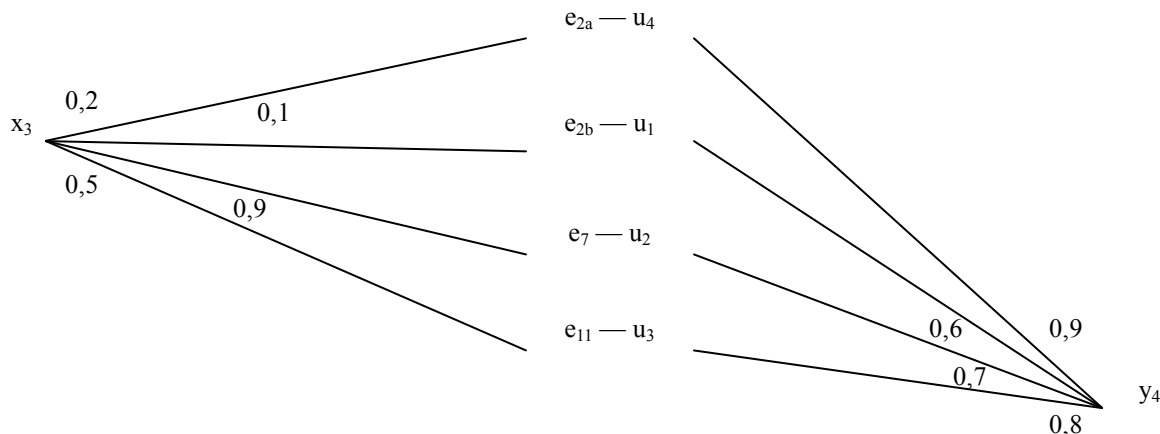


Рис. 7. Композиция гиперграфов «Нарушители» — «Объект»

элементов позволяет оценить требуемый уровень средств КТСО следующим образом.

Для составления композиций гиперграфов используются соответствия характеристик нарушителя и критических элементов, а также характеристик нарушителя и средств защиты. Примеры соответствий, взятые из статьи [5]:

$e_{2a}$  — осведомленность нарушителя о доступности критического элемента соответствует  $u_4$  — доступность критического элемента для совершения по отношению к нему ТА.

$e_{2b}$  — осведомленность о уязвимости критического элемента соответствует  $u_1$  — степень уязвимости конструкции и систем, обеспечивающих безопасность критического элемента.

$e_{4a}$  — возможности нарушителя к обходу средств обнаружения, т. е. к затруднению его обнаружения, соответствует  $q_1$  — возможности по обнаружению нарушителя.

$e_{4b}$  — возможности нарушителя по преодолению физических барьеров соответствует  $q_2$  — возможности по затруднению перемещения нарушителей.

$e_{4c}$  — возможности нарушителя по прохождению системы контроля доступа соответствует  $q_3$  — возможности по ограничению доступа в охраняемые зоны.

$e_{4d}$  — возможности нарушителя по прохождению системы телевизионного наблюдения соответствует  $q_5$  — возможности системы по распознаванию объектов.

$e_7$  — возможность пожертвовать собой соответствует  $u_2$  — приемлемость риска при совершении ТА из-за ее последствий для самих террористов.

$e_{11}$  — значимость базовых угроз, т. е. какую степень последствий они могут принести, соответствует  $u_3$  — степень экономических, политических, военных, экологических, психологических и других последствий ТА [5].

Эти соответствия позволяют построить композицию гиперграфов «Нарушители» — «Объект» и «Средства защиты» — «Нарушители». Третья композиция «Средства защиты» — «Объект» определяется автоматически по двум предыдущим. Коэффициенты матрицы инцидентий гиперграфа третьей композиции показывают степень необходимости обеспечения каждого критического элемента объекта различными средствами защиты — чем выше коэффициент, тем выше необходимость установки средства защиты в данной зоне.

Пример композиции «Нарушители» — «Объект» отображен на рис. 7. Рассматривается каждый критический элемент в отдельности и соответствующая ему базовая модель нарушителя.

Пример композиции «Средства защиты» — «Нарушители» отображен на рис. 8.

Рассматриваются все типы точек контроля и базовая модель нарушителя для одного критического элемента.

Пример построенной по двум предыдущим композиции «Средства защиты» — «Объект» отображен на рис. 9. Рассматриваются все типы точек контроля и один критический элемент.

Итоговый результат для всех критических элементов отображен в таблице 3.

Таблица 3

Коэффициенты матриц инцидентий гиперграфа композиции «Средства защиты» — «Объект» для всех КЭ

|                               | ТО $z_1$ | ТД $z_2$ | ТВ $z_3$ |
|-------------------------------|----------|----------|----------|
| материальный склад $u_1$      | 0,5      | 0,6      | 0,6      |
| котельная $u_2$               | 0,5      | 0,9      | 0,9      |
| административное здание $u_3$ | 0,5      | 0,5      | 0,5      |
| склад готовой продукции $u_4$ | 0,5      | 0,9      | 0,9      |
| склад сырья $u_5$             | 0,5      | 0,5      | 0,5      |

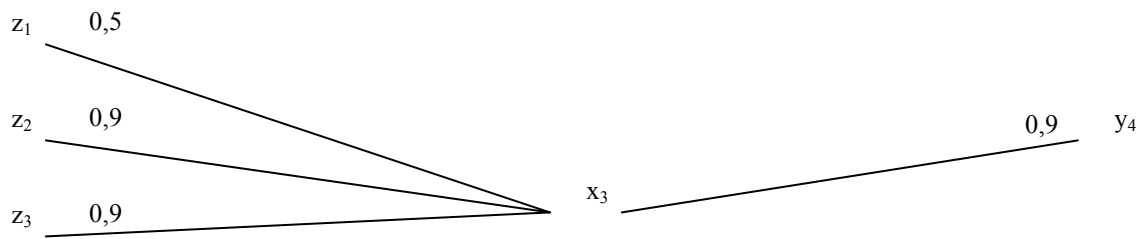


Рис. 9. Композиция гиперграфов «Средства защиты» — «Объект»

#### 4. Определение требуемой и текущей меры структурной защищенности

Требуемая мера структурной защищенности — минимальная вероятность обнаружения и задержки для каждого КЭ определяется по известным показателям потенциальной опасности, базовому типу нарушителя и привлекательности для совершения ТА аналогично требуемому уровню защищенности (таблица 4).

Для определения текущей меры структурной защищенности необходимо определить все возможные пути и выбрать среди них наиболее уязвимый (наименее защищенный), т. е. такой, что вероятность

$$P_{стр} = P_{обн} \times P_{зад}$$

на этом пути будет минимальна. Определим, как будет рассчитываться вероятность обнаружения нарушителя  $P_{обн}$  на выбранном пути. Используем величину, обратную вероятности обнаружения — вероятность необнаружения  $Q_{обн} = 1 - P_{обн}$ . Для пути из нескольких рубежей защиты эта величина должна рассчитываться как вероятность проникновения через все рубежи одновременно. По теории вероятности для оценки одновременного выполнения двух событий их вероятности должны перемножаться. Предположим, что вероятности  $P_{обн i}$  известны для каждого  $i$ -го рубежа пути из  $n$  рубежей. Вероятность обнаружения нарушителя  $P_{обн}$  для всего пути равна

$$1 - Q_{обн},$$

где  $Q_{обн}$  вероятность необнаружения нарушителя на всем пути. Так как для необнаружения на всем пути нарушитель должен пройти незамеченным все рубежи, то  $Q_{обн}$  равно произведению вероятностей необнаружения на каждом рубеже, соответственно:

$$P_{обн} = 1 - Q_{обн} = 1 - \prod_{i=1}^n Q_{обн i} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_{обн i}). \quad (3)$$

Аналогично определяем вероятность  $P_{зад}$  для всего пути:

$$P_{зад} = 1 - Q_{зад} = 1 - \prod_{i=1}^n Q_{зад i} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_{зад i}), \quad (4)$$

где  $Q_{зад}$  и  $Q_{зад i}$  — вероятности того, что нарушитель не будет задержан на всем пути и на  $i$ -ом рубеже соответственно.

Решение задачи определения меры структурной защищенности всех КЭ объекта потребует выявления путей проникновения на объект и оценку характеристик всех рубежей защиты. Для выявления возможных путей анализируемый объект защиты удобно описывать в виде графа. Оценка вероятностей  $P_{обн}$  и  $P_{зад}$  для рубежей потребует экспертной информации.

Таблица 4

Требуемые минимальные вероятности обнаружения и задержки

| Потенциальная опасность | Модель нарушителя | Привлекательность для совершения ТА | Требуемый уровень защищенности | Минимальная вероятность обнаружения и задержки |
|-------------------------|-------------------|-------------------------------------|--------------------------------|--|
| высокая                 | ТГ                | высокая                             | I                              | 0,9  |
| высокая                 | ТГ, ГН            | средняя                             | I                              | 0,9  |
| высокая                 | ТГ, ГН            | низкая                              | I                              | 0,9  |
| средняя                 | ТГ, ГН, ОН        | высокая                             | II                             | 0,85   |
| средняя                 | ТГ, ГН, ОН        | средняя                             | II                             | 0,8  |
| средняя                 | ТГ, ГН, ОН        | низкая                              | III                            | 0,8  |
| низкая                  | ГН, ОН            | высокая                             | IV                             | 0,7  |
| низкая                  | ОН                | средняя                             | V                              | 0,6  |
| низкая                  | ОН                | низкая                              | V                              | 0,5  |

Найти наименее защищенный путь из точки проникновения в зону объекта можно путем полного перебора всех возможных путей, или через метод, позволяющий упростить задачу поиска. Используем алгоритм Дейкстры для определения кратчайшего пути между вершинами графа [6]. Вместо анализа суммарной длины ребер для выбранного пути используем формулы (3) и (4). Измененный таким

образом алгоритм Дейкстры позволяет найти путь с наименьшим произведением вероятностей  $P_{обн}$  и  $P_{зад}$ , т. е. искомый наименее защищенный.

Значения вероятностей  $P_{обн}$  и  $P_{зад}$  для рубежей защиты определяются экспертными методами. Информация такого рода не может быть получена с высокой точностью и достоверностью, поэтому предлагается использовать нечеткие величины для задания исходных данных в задаче определения меры структурной защищенности.

Опишем  $P_{обн}$  и  $P_{зад}$  в виде лингвистических переменных. Каждая лингвистическая переменная имеет свой набор термов вида «высокая», «средняя», «низкая». Набор термов и функции принадлежности могут быть любыми. Считается, что для экспертов наиболее удобным является количество от 5 до 9 термов в переменной [7]. Для каждого рубежа или зоны эксперты могут задавать вероятности в словесной форме, выбирая из используемых термов наиболее подходящий. Например, эксперт считает, что вероятность обнаружения нарушителя на контрольно-пропускном пункте «очень высокая».

Для поиска наименее защищенного пути с нечеткими исходными данными необходимо использовать арифметические операции с нечеткими числами. Существует несколько способов, такие как принцип

обобщения Заде. Наиболее практичным является применение  $\alpha$ -уровневого принципа обобщения. В этом случае нечеткие числа представляются в виде разложений по  $\alpha$ -уровневым множествам, что позволяет легко выполнять арифметические операции над нечеткими числами.

Приведем пример определения меры структурной защищенности для вышеописанного модельного объекта. Используем граф на рис. 4.

Первые десять зон являются критическими элементами, для которых будем определять меру структурной защищенности. Точками проникновения нарушителей могут являться все три КПП и запретная зона защитного периметра — зоны № 11, № 12, № 13, № 17. В таблице 5 перечислены зоны объекта (вершины графа), связи между зонами (ребра графа) и для всех рубежей и зон в нечеткой форме заданы вероятности  $P_{обн}$  и  $P_{зад}$ .

Применяемые в условном примере нечеткие числа приведены в таблице 6. Функции принадлежности заданы в виде нечетких множеств с указанием вероятностей для различных значений. Четкие аналоги рассчитывались методом дефаззификации по центру максимумов. Число «ровно 0» четкое и используется для указания отсутствия средств обнаружения или задержки.

Таблица 5

Рубежи и зоны модельного объекта

| Номера зон и обозначение рубежей | Описание зон и рубежей         | Средства обнаружения и средства задержки   | Нечеткие значения вероятностей обнаружения и задержки |
|----------------------------------|--------------------------------|--|---|
| 1                                | ПЦ-1                           | Доступ посторонних ограничен<br>Внутренний КПП   | $P_{обн}$ = средняя<br>$P_{зад}$ = высокая            |
| 1–16                             | Вход с территории              | Локальная зона с сигнальным рубежом  | $P_{обн}$ = высокая<br>$P_{зад}$ = 0                  |
| 2                                | ПЦ-2                           | Доступ посторонних ограничен<br>Внутренний КПП   | $P_{обн}$ = средняя<br>$P_{зад}$ = высокая            |
| 2–16                             | Вход с территории              | Локальная зона с сигнальным рубежом  | $P_{обн}$ = высокая<br>$P_{зад}$ = 0                  |
| 3                                | Склад сырья                    | Доступ посторонних ограничен   | $P_{обн}$ = средняя<br>$P_{зад}$ = 0                  |
| 3–16                             | Вход с территории              | Рубеж обнаружения по периметру здания<br>Вход в здание оснащен считывающими устройствами | $P_{обн}$ = выше средней<br>$P_{зад}$ = ниже средней  |
| 4                                | Склад готовой продукции        | Доступ посторонних ограничен   | $P_{обн}$ = средняя<br>$P_{зад}$ = 0                  |
| 4–16                             | Вход с территории              | Рубеж обнаружения по периметру здания<br>Вход в здание оснащен считывающими устройствами | $P_{обн}$ = выше средней<br>$P_{зад}$ = ниже средней  |
| 5                                | Склад ГСМ                      |  | $P_{обн}$ = 0 $P_{зад}$ = 0                           |
| 5–16                             | Вход с территории              | Дверь с замком   | $P_{обн}$ = 0 $P_{зад}$ = средняя                     |
| 5–14                             | Проход на строительный участок | Обеспечивается строительными конструкциями здания  | $P_{обн}$ = 0<br>$P_{зад}$ = высокая                  |
| 5–15                             | Проход в гараж                 | Дверь с замком   | $P_{обн}$ = 0 $P_{зад}$ = средняя                     |
| 6                                | Компрессорная станция          |  | $P_{обн}$ = 0 $P_{зад}$ = 0                           |

Окончание таблицы 5

| Номера зон и обозначение рубежей | Описание зон и рубежей                   | Средства обнаружения и средства задержки  | Нечеткие значения вероятностей обнаружения и задержки                        |
|----------------------------------|--|---|--|
| 6–16                             | Вход с территории                        |   | $P_{\text{обн}} = 0$ $P_{\text{зад}} = 0$                                    |
| 6–7                              | Переход в котельную                      | Дверь с замком  | $P_{\text{обн}} = 0$ $P_{\text{зад}} = \text{средняя}$                       |
| 7                                | Котельная                                |   | $P_{\text{обн}} = 0$ $P_{\text{зад}} = 0$                                    |
| 7–16                             | Вход с территории                        |   | $P_{\text{обн}} = 0$ $P_{\text{зад}} = 0$                                    |
| 8                                | Административное здание                  |   | $P_{\text{обн}} = 0$ $P_{\text{зад}} = 0$                                    |
| 8–16                             | Вход с территории                        |   | $P_{\text{обн}} = 0$ $P_{\text{зад}} = 0$                                    |
| 8–13                             | Переход из КПП                           |   | $P_{\text{обн}} = 0$ $P_{\text{зад}} = 0$                                    |
| 9                                | Материальный склад                       |   | $P_{\text{обн}} = 0$ $P_{\text{зад}} = 0$                                    |
| 9–16                             | Вход с территории                        | Дверь с замком  | $P_{\text{обн}} = 0$ $P_{\text{зад}} = \text{средняя}$                       |
| 10                               | Ремонтно-механический цех                |   | $P_{\text{обн}} = 0$ $P_{\text{зад}} = 0$                                    |
| 10–16                            | Вход с территории                        |   | $P_{\text{обн}} = 0$ $P_{\text{зад}} = 0$                                    |
| 11                               | Железнодорожный КПП                      | Доступ посторонних ограничен СКУД   | $P_{\text{обн}} = \text{выше средней}$<br>$P_{\text{зад}} = \text{высокая}$  |
| 11–16                            | Вход с территории                        |   | $P_{\text{обн}} = 0$ $P_{\text{зад}} = 0$                                    |
| 12                               | Автомобильный КПП                        | Доступ посторонних ограничен СКУД   | $P_{\text{обн}} = \text{выше средней}$<br>$P_{\text{зад}} = \text{высокая}$  |
| 12–16                            | Вход с территории                        |   | $P_{\text{обн}} = 0$<br>$P_{\text{зад}} = 0$                                 |
| 13                               | КПП                                      | Доступ посторонних ограничен СКУД   | $P_{\text{обн}} = \text{выше средней}$<br>$P_{\text{зад}} = \text{высокая}$  |
| 13–16                            | Вход с территории                        |   | $P_{\text{обн}} = 0$<br>$P_{\text{зад}} = 0$                                 |
| 14                               | Строительный участок                     |   | $P_{\text{обн}} = 0$<br>$P_{\text{зад}} = 0$                                 |
| 14–16                            | Вход с территории                        |   | $P_{\text{обн}} = 0$<br>$P_{\text{зад}} = 0$                                 |
| 14–15                            | Проход в гараж                           | Обеспечивается строительными конструкциями здания                                 | $P_{\text{обн}} = 0$<br>$P_{\text{зад}} = \text{высокая}$                    |
| 15                               | Гараж                                    |   | $P_{\text{обн}} = 0$<br>$P_{\text{зад}} = 0$                                 |
| 15–16                            | Вход с территории                        |   | $P_{\text{обн}} = 0$<br>$P_{\text{зад}} = 0$                                 |
| 16                               | Территория внутри защитного периметра    |   | $P_{\text{обн}} = 0$<br>$P_{\text{зад}} = 0$                                 |
| 17                               | Запретная зона защитного периметра       | Сигнальные рубежи, телевизионные средства<br>Два заградительных рубежа наблюдения | $P_{\text{обн}} = \text{высокая}$<br>$P_{\text{зад}} = \text{очень высокая}$ |
| 17–6                             | Доступ на крышу компрессорной станции    | Обеспечивается строительными конструкциями здания                                 | $P_{\text{обн}} = 0$<br>$P_{\text{зад}} = \text{выше средней}$               |
| 17–7                             | Доступ на крышу котельной                | Обеспечивается строительными конструкциями здания                                 | $P_{\text{обн}} = 0$<br>$P_{\text{зад}} = \text{выше средней}$               |
| 17–8                             | Доступ на крышу административного здания | Обеспечивается строительными конструкциями здания                                 | $P_{\text{обн}} = 0$<br>$P_{\text{зад}} = \text{выше средней}$               |
| 17–9                             | Доступ на крышу материального склада     | Обеспечивается строительными конструкциями здания                                 | $P_{\text{обн}} = 0$<br>$P_{\text{зад}} = \text{выше средней}$               |
| 17–14                            | Доступ на строительный участок           | Обеспечивается строительными конструкциями здания                                 | $P_{\text{обн}} = 0$<br>$P_{\text{зад}} = \text{ниже средней}$               |
| 17–16                            | Доступ на территорию внутри периметра    |   | $P_{\text{обн}} = 0$ $P_{\text{зад}} = 0$                                    |

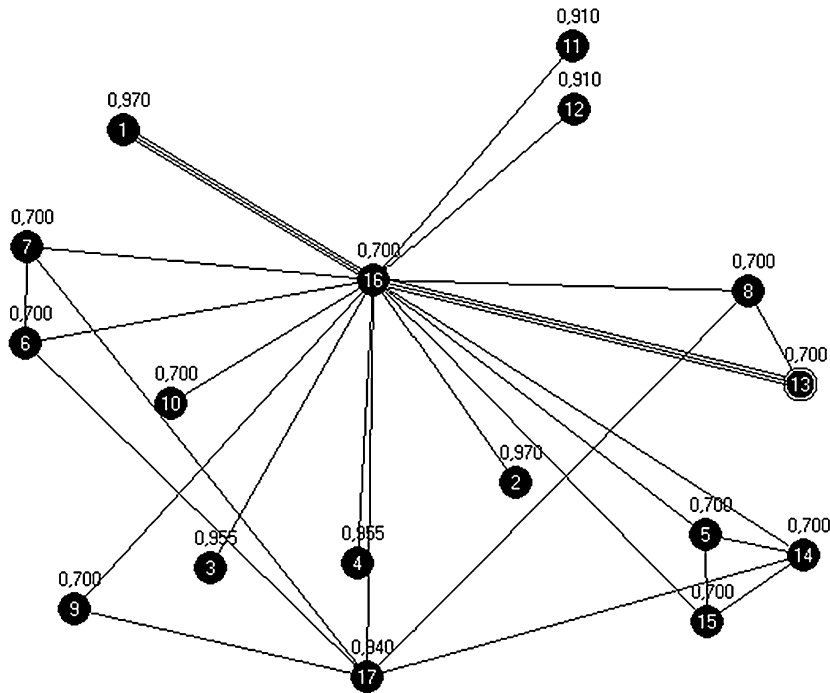


Рис. 10. Граф модельного объекта с указанием наименее защищенного пути из вершины № 13 в вершину № 1

Таблица 6

Функции принадлежности нечетких чисел в виде множеств

| Имя нечеткого числа | Нечеткое множество с элементами вида {вероятность/значение}                     | Четкий аналог |
|---------------------|---|---------------|
| средняя             | 0/0,3; 0,1/0,35; 0,3/0,4; 0,95/0,45; 1/0,5; 0,95/0,55; 0,3/0,6; 0,1/0,65; 0/0,7 | 0,5           |
| низкая              | 0/0; 0,1/0,05; 0,3/0,1; 0,95/0,15; 1/0,2; 0,95/0,25; 0,3/0,3; 0,1/0,35; 0/0,4   | 0,2           |
| высокая             | 0/0,6; 0,1/0,65; 0,3/0,7; 0,95/0,75; 1/0,8; 0,95/0,85; 0,3/0,9; 0,1/0,95; 0/1   | 0,8           |
| очень низкая        | 0,3/0; 0,95/0,05; 1/0,1; 0,95/0,15; 0,3/0,2; 0,1/0,25; 0/0,3                    | 0,1           |
| почти 0             | 1/0; 0,95/0,05; 0,3/0,1; 0,1/0,15; 0/0,2  | 0             |
| ниже средней        | 0/0,1; 0,1/0,15; 0,3/0,2; 0,95/0,25; 1/0,3; 0,95/0,35; 0,3/0,4; 0,1/0,45; 0/0,5 | 0,3           |
| очень высокая       | 0/0,7; 0,1/0,75; 0,3/0,8; 0,95/0,85; 1/0,9; 0,95/0,95; 0,3/1                    | 0,9           |
| выше средней        | 0/0,5; 0,1/0,55; 0,3/0,6; 0,95/0,65; 1/0,7; 0,95/0,75; 0,3/0,8; 0,1/0,85; 0/0,9 | 0,7           |
| почти 1             | 0/0,8; 0,1/0,85; 0,3/0,9; 0,95/0,95; 1/1  | 1             |
| ровно 0             | 1/0   | 0             |

Расчеты проводились с помощью программы, созданной на языке Visual Basic (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012618396). Рассмотрим подробно процесс оп-

ределения меры структурной защищенности критического элемента ПЦ-1 — зоны № 1. Точкой проникновения выберем КПП — зону № 13. На рис. 10 показано изображение графа объекта в интерфейсе программы после проведенного анализа путей. Для каждой зоны определены пути с наименьшей вероятностью обнаружения —  $P_{обн}$ . Четкие значения вероятностей, полученные дефаззификацией по центру максимумов, подписаны над всеми зонами. Найденный путь в зону № 1 проходит через следующие вершины и ребра: КПП ( $P_{обн} = \text{«выше средней»}$ ), вход на КПП с территории внутри периметра ( $P_{обн} = 0$ ), территория внутри защитного периметра ( $P_{обн} = 0$ ), вход в ПЦ-1 с территории ( $P_{обн} = \text{«высокая»}$ ), ПЦ-1 ( $P_{обн} = \text{«средняя»}$ ).

В процессе поиска наименее защищенных путей используются формулы (4) и (5). Для описанного пути значение  $P_{обн}$  определяется следующими численными:

$$P_{обн} = 1 - (1 - \text{выше средней}) \times (1 - 0) \times (1 - 0) \times (1 - \text{высокая}) \times (1 - \text{средняя}).$$

Для расчетов используется  $\alpha$ -уровневый принцип обобщения. Значение  $P_{обн}$  получено в виде набора  $\alpha$ -уровней, визуальное отображение которых дает возможность оценить форму функции принадлежности нечеткого числа. Большое количество  $\alpha$ -уровней позволяет провести дефаззификацию нечеткого числа. В программе использовалось пятьдесят  $\alpha$ -уровней. Функция принадлежности искомого нечеткого зна-

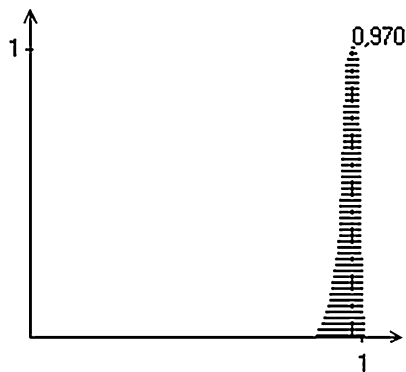


Рис. 11. Функция принадлежности нечеткого значения  $P_{обн}$  зоны № 1

Таблица 7

Вероятности обнаружения и задержки наименее защищенных путей из зоны № 13 до критических элементов модельного объекта

| №  | Критические элементы      | Четкие значения вероятностей обнаружения и задержки |
|----|---------------------------|---|
| 1  | ПЦ-1                      | $P_{обн} = 0,970$ $P_{зад} = 0,960$                 |
| 2  | ПЦ-2                      | $P_{обн} = 0,970$ $P_{зад} = 0,960$                 |
| 3  | Склад сырья               | $P_{обн} = 0,955$ $P_{зад} = 0,860$                 |
| 4  | Склад готовой продукции   | $P_{обн} = 0,955$ $P_{зад} = 0,860$                 |
| 5  | Склад ГСМ                 | $P_{обн} = 0,700$ $P_{зад} = 0,900$                 |
| 6  | Компрессорная станция     | $P_{обн} = 0,700$ $P_{зад} = 0,800$                 |
| 7  | Котельная                 | $P_{обн} = 0,700$ $P_{зад} = 0,800$                 |
| 8  | Административное здание   | $P_{обн} = 0,700$ $P_{зад} = 0,800$                 |
| 9  | Материальный склад        | $P_{обн} = 0,700$ $P_{зад} = 0,900$                 |
| 10 | Ремонтно-механический цех | $P_{обн} = 0,700$ $P_{зад} = 0,800$                 |

чения  $P_{обн}$  в виде  $\alpha$ -уровней и четкий аналог показаны на рис. 11. Аналогично проводится расчет вероятности задержки —  $P_{зад}$ . Анализ путей до всех десяти критических элементов показал следующие четкие значения вероятностей обнаружения и задержки (таблица 7).

Можно перемножить полученные нечеткие числа или (если конечный результат требуется представить четким числом) их четкие аналоги:  $0,970 \times 0,960 = 0,9312$ . В итоге вероятность того, что при попытке проникнуть на ПЦ-1 нарушитель будет обнаружен и задержан ИТСО, равна 0,9312.

Критический элемент ПЦ-1 относится к категории с высокой потенциальной опасностью и привлекателен для совершения террористического акта. Требуемая минимальная вероятность обнаружения и задержки для такой категории равна 0,9. Делаем вы-

вод, что структурная защищенность критического элемента ПЦ-1 соответствует категории.

Рассмотрим элемент с такой же категорией — склад готовой продукции. Вероятность обнаружения и задержки равна  $0,955 \times 0,860 = 0,8213$ , что меньше требуемой — 0,9 (таблица 4). Следовательно, структурная защищенность критического элемента — зоны склада готовой продукции не соответствует категории. Необходимо проанализировать средства защиты на самом уязвимом пути в эту зону и увеличить их эффективность, либо добавить новые средства защиты на любых участках этого пути.

Определяем меру структурной защищенности критического элемента ПЦ-1 по формуле

$$P_{кз} = P_{обн} \times P_{зад}$$

### Заключение

Представленная методика, позволяющая провести оценку уровня защищенности объекта, обладает следующими достоинствами:

- 1) Методика может применяться как основа автоматизированной системы поддержки принятия решений о составе СФЗ потенциально-опасных объектов.
- 2) В качестве исходных данных используется экспертная информация в нечеткой форме, что позволяет отразить нечеткость и неопределенность, присутствующую в предметной области.
- 3) В модели объекта учитываются данные о производственно-технологическом процессе, при этом используется модифицированный стандарт DFD-диаграмм.
- 4) Описанный метод поиска меры структурной защищенности позволяет автоматизировать анализ путей, по составленному экспертами графу объекта.

К недостаткам методики можно отнести следующее:

Необходимо выбирать экспертов, уровень подготовки которых позволяет адекватно оценивать входную информацию для используемых методов, например вероятности обнаружения и задержки, а также определять соответствующие функции принадлежности нечетких значений.

Таким образом, применение данной методики может повысить эффективность принятия решения при проектировании СФЗ объекта.

### Литература

1. Панин О. А. Как измерить эффективность? Логико-вероятностное моделирование в задачах оценки систем физической защиты // Безопасность — Достоверность — Информация. 2008. № 2(77). С. 20–24.
2. Радаев Н. Н. Приближенные оценки защищенности объектов от террористических действий // Безопасность — Достоверность — Информация. 2007. № 3(72). С. 28–32.

3. *Ротштейн А. П., Штовба С. Д.* Нечеткий многокритериальный анализ вариантов с применением парных сравнений // Известия РАН. Теория и системы управления. — 2001. — № 3. — С. 150–154.
4. *Беллман Р., Заде Л.* Принятие решений в расплывчатых условиях. В кн.: Вопросы анализа и процедуры принятия решений. — М.: Мир, 1976. — С. 172–215.
5. *Боровский А. С., Тарасов А. Д.* Метод обработки экспертной информации на основе нечетких гиперграфов для проектирования систем физической защиты // Информационные технологии, теоретический и прикладной научно-технический журнал. 2012. № 2(186). С. 67–73.
6. *Томас Х. Кормен, Чарльз И. Лейзерсон, Рональд Л. Ривест, Клиффорд Штайн.* Алгоритмы: построение и анализ = Introduction to Algorithms. — 2-е изд. — М.: «Вильямс», 2006. — 1296 с.
7. *Штовба С. Д.* Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. Винница: Изд-во Винницкого гос. тех. ун-та, 2001. 198 с.

**Тарасов Андрей Дмитриевич.** Ст. преподаватель Оренбургского государственного аграрного университета. Окончил в 2001 г. ОГАУ. Количество печатных работ: 21. Область научных интересов: информационные технологии. E-mail: [adtarasov@mail.ru](mailto:adtarasov@mail.ru)