

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКИХ СЕТЕЙ ПЕТРИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Современные информационно-телекоммуникационные сети (ИТС) представляют собой технические системы, которые имеют сложную распределенную структуру и включают в себя комплекс различных элементов, взаимодействующих между собой при помощи множества протоколов на разных уровнях модели OSI. Защищенность отдельных протоколов, сервисов и составных элементов ИТС является решающим фактором информационной безопасности (ИБ) всей сети. В то же время ИБ ИТС должна обеспечиваться не только от угроз каждому отдельному элементу, протоколу или сервису, а должна быть обеспечена во взаимодействии различных ресурсов ИБ ИТС. Указанные тенденции определяют проблему построения и оптимизации распределенных комплексных систем защиты информации (КСЗИ) в ИТС.

Проблема оптимизации распределения ресурсов ИБ ИТС в наиболее общей ее постановке [1, 2] сводится к разработке методологии, которая позволяла бы формировать функцию выбора и выделения подмножества оптимальных стратегий по выбору варианта архитектуры распределенной КСЗИ.

При этом, распределенные КСЗИ, с одной стороны, являются составной частью ИТС, с другой стороны сами по себе представляют сложную техническую систему. Варианты постановки задачи распределения ресурсов ИБ ИТС [2, 3, 4]:

- между уровнями архитектуры взаимодействия открытых систем;
- между узлами, каналами, локальными сетями, системами обработки информации, системами управления базами данных, и т.п.;
- между конечным оборудованием, элементами сети доступа, цифровыми коммутационными системами и транспортной сетью;
- между конечными пунктами и сетью передачи;
- между уровнями стека сетевых протоколов;
- между процессами обработки информации.

Как показывают результаты исследований [1-5], решение проблемы оптимизации распределения ресурсов ИБ ИТС усложняется рядом особенностей (нестохастический характер распределенных нечетких процессов защиты информации; опосредствованная взаимосвязь показателей защищенности с показателями качества ИТС; большое число противоречивых требований, учитываемых при выборе оптимального варианта; преимущественно качественный характер показателей; высокая степень корреляции показателей (требований); сложность получения исходных данных), которые делают неэффективным применение традиционных подходов к формализации процессов защиты информации [5], математических моделей [6], а также классических методов многокритериальной оптимизации [7]. Отсутствие проработанного математического аппарата, который был бы адекватен специфике решаемой проблемы, приводит к тому, что при принятии решений, оценке и выборе альтернатив в основном приходится использовать и обрабатывать лингвистическую информацию, носящую качественный характер. Принятие решений в таком случае базируется на использовании метода экспертных оценок [8] в сочетании с теорией нечетких множеств [9] либо аппаратом субъективной логики [10]. В условиях неопределенности исходных данных и нечеткости постановки задачи оптимизации распределения ресурсов ИБ ИТС эти оценки могут внести дополнительную некорректность в принимаемое решение, увеличив тем самым исходную неопределенность [11].

В качестве метода преодоления указанных трудностей предложена технология управляемого моделью проектирования распределенной КСЗИ [12, 13].

Целью настоящей работы является выбор формальных средств, адекватных специфике решаемой проблемы и удобных для построения аналитической модели, позволяющей организовать процесс проектирования и оптимизации распределенной КСЗИ в ИТС как последовательную детализацию первоначальной абстрактной модели; а также обоснование использования нечетких сетей Петри в качестве формального языка построения аналитической модели распределения ресурсов ИБ ИТС.

1. Базовый формализм иерархии классов сетей Петри

Сети Петри (СП) представляют собой иерархию классов математических моделей, которые включают в себя многочисленные разновидности, модификации и обобщения классического формализма СП, основными из которых являются: временные СП, цветные СП, Е-сети, алгебраические СП, нечеткие СП и др. Основными достоинствами данных классов моделей являются возможность адекватного представления структуры сложных динамических дискретных систем, а также логико-временных особенностей процессов их функционирования, выраженных в терминах «условие-событие»; возможность исследования работоспособности моделируемых систем, оптимальности их структуры, эффективности процесса их функционирования, возможности достижения определенных состояний; возможность иерархического вложения СП, позволяющая рассматривать модели различной степени детализации, обеспечивая декомпозицию сложных систем и процессов. Аппарат СП является практически безальтернативным, если объект управления является распределенным и отдельные его части (подмножества) работают асинхронно.

СП могут быть представлены как в графической форме, что обеспечивает их наглядность, так и в аналитической. При графической интерпретации СП является графом особого вида (рис. 1), состоящим из четырех базовых элементов: позиций (places), переходов (transition), ориентированных дуг и меток (token). Цифрами 1 и 2 обозначены переходы, а буквами А и Б - позиции.

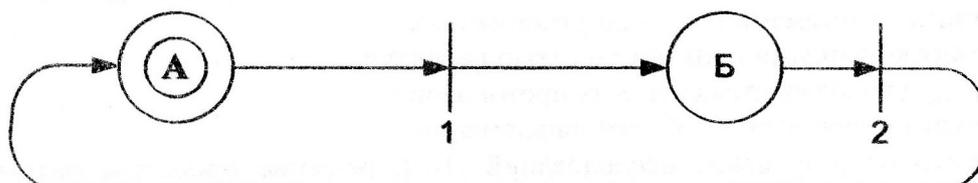


Рис. 1. Сеть Петри с двумя позициями и двумя переходами

Согласно [14] СП называется ординарной, если в ней отсутствуют кратные дуги; безопасной, если разметка мест не превышает единицы; приоритетной, если введена фиксированная последовательность рассмотрения переходов.

Аналитическое определение обобщенной маркированной СП – кортеж вида:

$$N = \langle P, T, I, O, m_0 \rangle, \quad (1)$$

- где $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ - конечное множество позиций СП;
 $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ - конечное множество переходов СП;
 $I : P \times T \rightarrow N_0$ - входная функция переходов;
 $O : T \times P \rightarrow N_0$ - выходная функция переходов;
 $m_0 = (m_1^0, m_2^0, \dots, m_n^0)$ - вектор начальной маркировки СП;

$m_i^0 \in N_0 \quad (\forall i \in \{1, 2, K, n\})$ - компонент вектора начальной маркировки СП,
соответствующий позиции позиции $p_n \in P$;
 $N_0 = \{0, 1, 2, 3, K\}$ - множество целых неотрицательных чисел

2. Нечеткие сети Петри в задачах исследования динамических взаимодействующих процессов

В современных исследованиях динамических процессов, представленных на множестве отношений “условие-действие” и характеризующихся сложным параллельно-последовательным взаимодействием в нечетком пространстве состояний важное место занимает аппарат нечетких сетей Петри (НСП) [15-18]. НСП являются обобщением традиционных СП, в котором отдельным элементам (местам, переходам, дугам) или их комбинациям приданы атрибуты нечеткости.

Аппарат традиционных СП основывается на аксиоматизированной теоретической базе [14]. В отличие от него, аппарат НСП получен привнесением в аппарат СП нечетких представлений. Корректность внесения в аппарат СП нечетких представлений обоснована в работе [15]. Там же в [15] показана сводимость НСП к ординарным безопасным приоритетным СП с поглощением меток, для ограниченного набора нечетких операций. Подобная сводимость позволяет рассматривать НСП как подкласс традиционных, с соответствующим распространением свойств и теорем.

НСП удобным образом описывают как структуру взаимодействующих процессов, так и динамику их развития. Важным преимуществом аппарата НСП можно считать его хорошую формализуемость, интерпретируемость, возможность модификации моделей и процессов, детального исследования пространства состояний реальных объектов с использованием структуры и пространства состояний модели.

Применительно к задачам, решаемым в настоящем исследовании, следует отметить, что ограничением на использование существующего аппарата НСП является отсутствие возможности учета множества параметров реализации ИБ ИТС (надежность, гарантированность, адекватность, корректность, полнота, время, стоимость, точность и т.п.), которые могут быть заданы лингвистическими, аналитическими или логическими зависимостями, нечеткими предикатами. Важным является также то, что с увеличением размерности распределения ресурсов ИБ ИТС на множестве процессов “условие-действие”, а также пространства состояний модели, ее эффективность уменьшается. Это требует дополнительных исследований по созданию эффективных моделей на базе НСП.

Одной из первых и достаточно основательных работ по разработке и применению нечетких сетей Петри является публикация [16]. Согласно [16] нечеткие сети Петри могут быть представлены следующим образом:

$$\tilde{S}(f) = \langle \tilde{P}, \tilde{T}, F, I, O, M \rangle, \quad (2)$$

где $\tilde{P} = \{\tilde{p}_j\}$ - конечное множество нечетких позиций \tilde{p}_j , которым ставятся в соответствие функции принадлежности $\mu_{\tilde{p}_j}^{(k)}$, k - некоторая переменная;

$\tilde{T} = \{\tilde{t}_i\}$ - конечное множество нечетких переходов \tilde{t}_i которым ставятся в соответствие функции принадлежности $\mu_{\tilde{t}_i}^{(k)}$;

$F : (\tilde{P} \times \tilde{T}) \cup (\tilde{T} \times \tilde{P})$ - функция инцидентностей;

$I : (\tilde{P} \times \tilde{T})$ - входная функция инцидентностей;

$O : (\tilde{T} \times \tilde{P})$ - выходная функция инцидентностей;

$M : (\tilde{P}) \rightarrow N$ - функция маркирования позиций.

Особенностью предложенной структуры является возможность лишь обобщенного (концептуального) представления нечетких процессов защиты информации и динамики их взаимодействия.

Из многочисленных интерпретационных вариантов, наибольшее распространение получили *Fuzzy Petri Nets* (FPN) [17], в которых значения функций принадлежности (ФП) приписаны меткам, а нечеткие операции реализованы в переходах. Аппарат FPN "оптимально укрупнен" с точки зрения реализации модели распределения ресурсов ИБ ИТС и последующего использования результатов моделирования в архитектуре разрабатываемой распределенной КСЗИ. При моделировании в FPN используются отработанные крупные логические блоки (нечеткие операции); в то же время есть доступ для анализа и регулирования непосредственно к значениям ФП.

Недостатком как этой, так и ряда других более поздних разработок является то, что не учитывается множество параметров, показателей и характеристик, без которых сложно представить реальное распределение ресурсов ИБ в реальной ИТС. Кроме того ограничена возможность задания показателей нечеткости маркировки и компонент функции инцидентностей, что существенно ограничивает возможности анализа.

На данном этапе существующие подходы на основе НСП не позволяют в полной мере и адекватно решать практические задачи анализа реальных процессов.

3. Требования, предъявляемые к модели распределения ресурсов ИБ ИТС

Определим некоторые основные требования, которые будут предъявляться к модели распределения ресурсов ИБ ИТС. Уникальной особенностью такой модели является то, что она должна обеспечивать гибкую стратегию обработки нечетких распределенных динамически взаимодействующих процессов защиты информации в существенно нечетком пространстве состояний объектов защиты ИТС. Динамически взаимодействующие процессы защиты информации описываются как числовыми, так и лингвистическими переменными.

В связи с этим можно утверждать, что модель распределения ресурсов ИБ ИТС должна быть ориентирована на моделирование конструкций, для которых характерно

- функционирование на уровне нечетких множеств;
- характеристики системы могут быть отображены в лингвистическом формате;
- представление и обработка данных в условиях неопределенности, носящей нестохастический характер.

Согласно [18] некоторая система может быть представлена набором нечетких моделей в зависимости от степени детализации нечетких множеств, которые используются для представления специализированной модели со средой моделирования. Степень детализации лингвистических представлений (меток) определяет объект исследований, а логика лингвистического представления процессов описывается уровнем логически-ориентированных отношений.

Логичность предложенной структуры очевидна, однако она не предполагает реализацию отдельных моделей распределения ресурсов ИБ ИТС на различных иерархических уровнях с единой методологической базой и с единым математическим аппаратом, что не всегда разумно и существенно усложняет вычислительные процедуры и интерпретацию полученных результатов.

Обобщенная структура модели распределения ресурсов ИБ ИТС может быть представлена на основе целенаправленного взаимодействия трех основных модулей: нечеткого кодера; модуля обработки; нечеткого декодера. Инструментом формирования интерфейса между средой моделирования и, собственно вычислительным модулем модели являются нечеткие множества [9].

Рассмотрим некоторые особенности нечеткого кодирования и декодирования распределения ресурсов ИБ ИТС. Существенная роль нечеткого кодера и нечеткого декодера состоит в том, что они должны кодировать и декодировать информацию, исходящую из

среды или направленную к среде, в которой происходит моделирование. Информация может быть разнородной по характеру, включая точные числовые данные, интервалы четких и нечетких данных и знаний, а также лингвистические переменные. Преобразование этой внешней формы информации во внутренний формат, который используется в нечёткой модели, реализуемой через различные процедуры соответствия, является важной задачей. Часто эти процедуры зависят от возможности приобретения данных и знаний, а также потребностей пользователя. Такие преобразования обычно осуществляются посредством функций принадлежности и процедур дефазификации. В [18] предлагается описание и некоторый анализ существующих нечетких моделей, среди которых можно выделить модели на основе: табличных представлений; нечетких грамматик; нечетких реляционных уравнений; правил продукций; локальных моделей регрессии; искусственных нейронных сетей и нечётких нейронных сетей; нечетких сетей Петри. Применительно к задаче оптимизации распределения ресурсов ИБ ИТС, автором в работе [1] показана перспективность моделирования с помощью аппарата НСП.

Модуль обработки может существенно изменяться в зависимости от специфической проблемы и особенностей предметной области. В частности, в работах [12, 13] автором предложена модель представления знаний в экспертной системе поддержки принятия решений по распределению ресурсов ИБ ИТС, которая основывается на нечетких данных и знаниях. Предлагаемая модель учитывает требования проверки обеспечения адекватности данных и знаний предметной области.

4. Концептуальная графовая модель распределения ресурсов ИБ

В качестве основы формального описания распределенной КСЗИ построим концептуальную графовую модель распределения ресурсов ИБ. Для этого рассмотрим кортеж, состоящий из 5 элементов: $\langle T, O, M, V, B \rangle$, которые будут описывать архитектуру распределенной КСЗИ в ИТС. Пусть:

- $T = \{t_i\}$ - множество угроз безопасности;
- $O = \{o_j\}$ - множество объектов защищаемой ИТС;
- $M = \{m_k\}$ - множество механизмов безопасности;
- $V = \{v_r\} : \langle t_i, o_j \rangle$ - набор уязвимых мест, определяемый подмножеством декартова произведения $T \times O$;
- $B = \{b_l\} : \langle t_i, o_j, m_k \rangle$ - набор барьеров, определяемый декартовым произведением $V \times M$; представляющих собой пути осуществления угроз безопасности, перекрытые ресурсами ИБ.

Элементы этих множеств находятся между собой в определенных отношениях, собственно и описывающих архитектуру распределенной КСЗИ. В результате получаем пятидольный граф, состоящий из пяти элементов: $\langle T, O, M, V, B \rangle$, описывающий распределение ресурсов ИБ ИТС, который представлен на рис. 2.

Для КСЗИ с полным перекрытием должно выполняться условие:

$$\forall \langle t_i, o_j \rangle \in V \exists \langle t_i, o_j, m_k \rangle \in B, \quad (3)$$

т.е. для любой уязвимости имеется соответствующий барьер, устраняющий эту уязвимость. Таким образом в КСЗИ с полным перекрытием для всех возможных угроз безопасности существуют механизмы защиты, препятствующие осуществлению этих угроз. Данное условие является первым фактором, определяющим ИБ ИТС. Вторым фактором является прочность существующих механизмов защиты.

Защищенность ИТС от угроз ИБ S определяется количеством уязвимостей v , для которых в системе не создано барьеров b , перекрывающих эти уязвимости, а также прочностью существующих барьеров. В идеале каждый механизм защиты должен исключать соответствующий путь реализации угрозы $\langle t_i, o_j \rangle$.

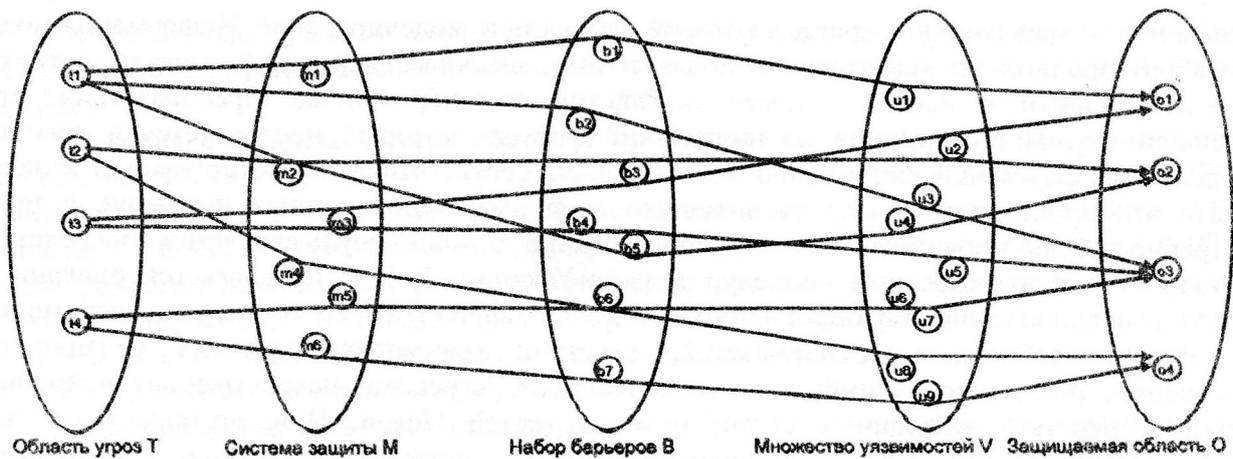


Рис. 2. Графовая модель распределения ресурсов ИБ

В действительности же механизмы защиты обеспечивают лишь некоторую степень сопротивляемости угрозам ИБ. В качестве характеристик элемента набора барьеров $b_i = \langle t_i, o_j, m_k \rangle$, $b_i \in B$ может рассматриваться набор переменных $\langle U_i, L_i, R_i \rangle$, где

- U_i - вероятность появления угрозы на протяжении определенного промежутка времени,
- L_i - величина ущерба, который может быть нанесен оператору вследствие реализации угроз,
- R_i - степень сопротивляемости механизма защиты m_k , характеризующаяся вероятностью его преодоления.

Прочность барьера $b_i = \langle t_i, o_j, m_k \rangle$ характеризуется величиной остаточного риска $Risk_i$, связанного с возможностью осуществления угрозы безопасности t_i в отношении объекта ИТС o_j , при использовании механизма защиты m_k . Эта величина определяется по формуле:

$$Risk_i = U_k \cdot L_k (1 - R_k) \tag{4}$$

Для определения величины защищенности S можно использовать следующую формулу:

$$S = 1 / \left(\sum (\forall b_k \in B) (U_k \cdot L_k (1 - R_k)) \right) \tag{5}$$

где $U_k, L_k \in (0, 1)$, $R_k \in [0, 1)$.

Знаменатель определяет суммарную величину остаточных рисков, связанных с возможностью осуществления угроз безопасности T в отношении объектов ИТС O , при использовании механизмов защиты M . Суммарная величина остаточных рисков характеризует общую уязвимость КСЗИ при данном варианте распределения ресурсов ИБ, а защищенность ИТС определяется как величина, обратная уязвимости. При отсутствии в КСЗИ барьеров b_k , перекрывающих определенные уязвимости, степень сопротивляемости механизма защиты R_k принимается равной 0.

На практике получение точных значений приведенных характеристик барьеров затруднено, т. к. понятия угрозы, ущерба и сопротивляемости механизма защиты трудноформализуемы. Для защиты информации экономического характера, допускающей оценку ущерба в результате осуществления угроз, разработаны стоимостные методы оценки эффективности КСЗИ. При этом набор характеристик барьера дополняет величина C_1 - затраты на построение средства защиты барьера b_i . Выбор варианта распределения ресурсов ИБ ИТС связан с минимизацией суммарных затрат $W = \{w_i\}$, состоящих из затрат $C = \{c_i\}$ на создание КСЗИ и ущерба в случае осуществления угроз $N = \{n_i\}$. В нашем случае будем

рассматривать величину C_1 не в количественном (денежном) выражении, а в качестве лингвистической переменной.

Для моделирования распределения ресурсов ИБ с помощью НСП будем рассматривать 4 лингвистические переменные $\tilde{U}_1, \tilde{L}_1, \tilde{R}_1, \tilde{C}_1$, характеризующие элемент набора барьеров $b_1 = \langle t_i, o_j, m_k \rangle, b_1 \in B$. Введем для них несколько дискретных градаций. Пусть лингвистические переменные $\tilde{U}_1, \tilde{L}_1, \tilde{R}_1, \tilde{C}_1$ принимают терм-множества значений T_u, T_l, T_r и T_c соответственно:

$$T_u = T_l = T_r = T_c = \{ \text{“незначительное”, “низкое”, “среднее”, “высокое”} \}. \quad (6)$$

5 Аналитическая модель распределения ресурсов ИБ ИТС, основанная на использовании формализма НСП

Сетевую модель распределения ресурсов ИБ представим в виде кортежа:

$$Y = \langle \tilde{N}, O, V, B, M, T, K, G, F, D, Q, M, M_0 \rangle, \quad (7)$$

где: \tilde{N} - НСП, которая моделирует распределение ресурсов ИБ ИТС; $O = \{o_j\}$ - множество объектов защищаемой ИТС; $V = \{v_r\} : \langle t_i, o_j \rangle$ - набор уязвимых мест, определяемый подмножеством декартова произведения $T*O$; $B = \{b_1\} : \langle t_i, o_j, m_k \rangle$ - набор барьеров, определяемый декартовым произведением $V*M$, представляющих собой пути осуществления угроз безопасности, перекрытые ресурсами ИБ; $M = \{m_k\}$ - множество механизмов безопасности; $T = \{t_i\}$ - множество угроз безопасности; K - множество связей между объектами, типов протоколов взаимодействия, характеристик процессов защиты информации; G - матрица, задающая возможности отображения элементов множества K на пространстве переходов сетевой модели \tilde{N} ; $F = \{f_t, f_p\}$ - функция инцидентностей, задающая управление на сетевой модели \tilde{N} , причем f_t - отображение условий запуска выполнения процессов (распределения), f_p - отображение изменений маркировок позиций НСП после выполнения процессов (распределения); D - матрица, задающая временные задержки срабатывания переходов и отображающая длительности выполнения процессов защиты информации (распределения ресурсов ИБ) соответствующими механизмами m_k ; Q - матрица назначения процессов защиты информации (распределения ресурсов ИБ) механизмами m_k соответствующим элементам (барьерам b_1) распределенной КСЗИ; M, M_0 - начальная и конечная маркировка сети.

В результате формируется сеть, которая моделирует распределение ресурсов ИБ. Позиции НСП при этом соответствуют элементам распределенной КСЗИ и объектам защищаемой ИТС или их определенным состояниям, а переходы - выполняемым операциям.

Позиции и переходы НСП отображают структурные отношения между элементами распределенной КСЗИ, то есть задают распределение ресурсов ИБ ИТС. На множестве нечетких позиций задаются функции принадлежности $\mu(\tilde{U}_1), \mu(\tilde{L}_1), \mu(\tilde{R}_1), \mu(\tilde{C}_1)$ термов лингвистических переменных $\tilde{U}_1, \tilde{L}_1, \tilde{R}_1, \tilde{C}_1$, которые определяют наличие в каждой позиции НСП свойств соответствующих конкретному варианту распределения ресурсов ИБ ИТС. Нечеткие правила управления, задают во времени порядок изменения свойств позиций НСП и тем самым отображают адаптивные динамические изменения текущего состояния распределения ресурсов ИБ ИТС. При этом НСП описывает в реальном времени распределенную структуру асинхронных динамически взаимодействующих параллельных и последовательных процессов защиты информации, алгоритмы функционирования механизмов и сервисов ИБ, которые обеспечивают защиту информации на различных плоскостях безопасности и различных уровнях модели взаимодействия OSI. Это достигается

использованием при моделировании НСП фактора реального времени. Привязка функционирования НСП к реальным временным соотношениям дает возможность получения эталонной модели распределения ресурсов ИБ ИТС, которая синхронизирована во времени с реальными процессами защиты информации в ИТС. При этом модель предоставляет возможность проводить анализ распределения ресурсов ИБ ИТС как при нормальном функционировании КСЗИ ИТС, так и при условии возникновения нештатных ситуаций.

Выводы

Проведенный в настоящем исследовании анализ позволяет сделать вывод, что использование формализма иерархии классов НСП для моделирования динамических нечетких процессов, оптимизации ресурсов и выбора альтернатив взаимодействия нечетких процессов, представленных на множестве отношений «условие – действие» сложных систем, (в частности распределенных КСЗИ) функционирующих в условиях неопределенности предметных областей, имеет значительные преимущества перед существующими традиционными подходами.

НСП, предложенная в настоящей работе в качестве модели распределения ресурсов ИБ ИТС, может быть определена как сеть высокого уровня. Особенностью модели является то, что она по сути является раскрашенной сетью Петри, в которой метка позиции определена значением функции принадлежности $\mu(\tilde{p}_j^{(k)})$ для позиций $\tilde{P} = \{\tilde{p}_j\}$ и $\mu(\tilde{t}^{(k)})$ - для переходов $\tilde{T} = \{\tilde{t}\}$, а для входных и выходных инцидентностей перехода определены нечеткие метки, соответственно $\langle m^0, K, m^n \rangle$, $\langle m_1, K, m_n \rangle$, которые и определяют тип нечетких входного и выходного объектов.

В разработанной модели динамика моделируемых процессов распределения ресурсов ИБ интерпретируется перемещением нечетких меток на множестве нечетких позиций через множество разрешенных нечетких инцидентных переходов. Пространство состояний динамически взаимодействующих нечетких процессов защиты информации интерпретируется множеством векторов маркирования множества позиций в пространстве состояний модели.

Направлениями дальнейшего исследования является анализ возможностей интегрирования НСП и искусственных нейронных сетей, построение интегрированных нейро-фаззи сетей Петри, моделирующей адаптивное динамическое распределение ресурсов ИБ в ИТС, разработка интеллектуальных адаптивных систем динамического распределения ресурсов ИБ ИТС в режиме реального времени, интеллектуальных экспертных систем и систем поддержки принятия решений, использующих разработанные модели.

Список литературы

1. *Гладыш С.В.* Использование нечетких сетей Петри для построения модели распределения ресурсов информационной безопасности информационно-телекоммуникационных сетей//Збірник тез доповідей III Міжнародної науково-технічної конференції студентства та молоді «Світ інформації та телекомунікацій-2006».-К., 2006.
2. *Кононович В.Г., Тардаскіна Т.М., Гладыш С.В.* Розподіл ресурсів інформаційної безпеки телекомунікаційних мереж загального користування//Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні.-2005.-вип. 10. -С. 166-176.
3. *Кононович В.Г., Тардаскін М.Ф., Тардаскіна Т.М.* Аналіз проблеми розподілу витрат на інформаційну безпеку інформаційно-телекомунікаційних систем//Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні.-2004.-вип. 8. -С. 62-68.
4. *Хорошко В., Ковалева Ю., Плус Д.* Розподіл ресурсів у багаторубіжній системі захисту інформації// Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні.-2004.-вип. 8. -С. 39-43.

5. Ухлинов Л.М., Мирошниченко Г.К. О формализации процессов защиты информации в вычислительных сетях//Автоматика и вычислительная техника.-1992.-№1. -С.6-12.
6. Домарев В.В. Математические модели систем и процессов защиты информации. <http://www.domarev.kiev.ua/nauka/>
7. Стеклов В.К., Беркман Л.Н., Костик Б.Я. Методика решения задачи многокритериальной оптимизации систем управления разнородными телекоммуникационными сетями // Зв'язок.-2003. -№1. -С. 42-44.
8. Гладыш С.В. Организационно-методические аспекты экспертной оценки информационной безопасности телекоммуникационных систем // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. -2006. -вип. 11.
9. Гладыш С.В. Использование теории нечетких множеств при экспертной оценке и многокритериальной оптимизации систем защиты информации//Материалы IX Международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке».-Харьков, 2005. -С. 416.
10. Потій О.В., Ленишин О.В. Методика визначення думок експертів відносно зрілості безпеки інформації з використанням математичного апарату суб'єктивної логіки//Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні.-2004.-вип. 9. -С. 38-47.
11. Доценко С. М., Зайчиков А. А., Малыш В. Н. Повышение объективности исходных данных как альтернатива методу нечеткой логики при оценке риска информационной безопасности//Защита информации. Конфидент.- С-Пб., 2004.-№5. -С. 15-25.
12. Гладыш С.В. Модель нечеткой экспертной системы поддержки принятия решений по распределению ресурсов информационной безопасности//Материалы X Международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке».-Харьков, 2006. -С. 459.
13. Гладыш С.В. Представление знаний в экспертной системе поддержки принятия решений по распределению ресурсов информационной безопасности информационно-телекоммуникационных сетей//Сборник докладов и тезисов IV Международного молодежного форума «Информационные технологии и кибернетика».-Днепропетровск, 2006.
14. Котов В.Е. Сети Петри. - М.: Наука, 1984. - 160 с.
15. Михаль О.Ф., Руденко О.Г., Халайбех Зияд. Эквивалентность информационных технологий нечетких и традиционных сетей Петри для моделирования в управлении//Вестник Херсонского национального технического университета.-2005.-№1(21). -С. 64-67.
16. Lipp H.P. Einsatz von zeitbewerteten Fuzzy-Petri-Netzen in Expertensystemen zur operativen Fuehrung komplexer Productionsysteme.-Hommel,G.(Hrsg.): Prozessrechnungssysteme '91. – Berlin / Heidelberg / New York: Springer - Verlag, 1991. – P. 103 – 112.
17. Scarpelli H., Gomide F. "Relational calculus in designing fuzzy Petri nets", in Fuzzy modelling Paradigms and Practice. Pedrycz W. (ed.), Kluwer Academic Publishers, 1996. - p. 71-89.
18. Pedrycz W. Fuzzy models: methodology, design, applications and challenges // Fuzzy modelling paradigms and practice / Ed. by W. Pedrycz. – Boston / Dortrecht / London, 1996. - P. 3 - 22.

Поступила 28.09.2006 г.