УДК 681.003.66

# ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ЗАДАЧ ВЫЯВЛЕНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ КОРПОРАТИВНОЙ IP-СЕТИ

**С.А. Соколов**
Кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой
Харьковский университет Воздушных Сил
г. Харьков, Украина
Контактный тел.: 8-577-342-22-84

**А.Л. Стокипный**
Офицер отдела связи и автоматизации
Восточное региональное управление
Государственная пограничная служба Украины
г. Харьков, Украина
Контактный тел.: 8-067-573-19-16
E-mail: a.stokipny@gmail.com

***У статті даний теоретичний опис діагностичної моделі корпоративної IP-мережі, що дозволяє представити стан мережі і її служб у вигляді набору подій і сформувати на заданому часовому інтервалі базу даних діагностичної інформації. Проведено класифікацію джерел діагностичної інформації й визначені типи діагностичних параметрів***

***Ключові слова: діагностування, IP-мережа, діагностична модель, інтелектуальний аналіз даних***

***В статье дано теоретическое описание диагностической модели корпоративной IP-сети, которая позволяет представить состояние сети и ее служб в виде набора событий и сформировать на заданном временном интервале базу данных диагностической информации. Проведена классификация источников диагностической информации и определены типы диагностических параметров***

***Ключевые слова: диагностирование, IP-сеть, диагностическая модель, интеллектуальный анализ данных***

***Theoretical description of diagnostic model of corporate IP-cemu which allows to present the state of network and its services as a set of events and form a database diagnostic information on the set time interval is given in the article. Classification of diagnostic information generators is conducted and the types of diagnostic parameters are certain***

***Keywords: diagnosticating, IP-сеть, diagnostic model, intellectual analysis of data***

## 1. Введение

Современные высокоэффективные системы сбора, обработки, передачи и хранения информации в подавляющем большинстве случаев имеют распределенный характер и используют для организации передачи информации пакетные сети, построенные на базе IP-технологий. Ввиду этого важность мероприятий, связанных с контролем функционирования, мониторингом состояния отдельных устройств IP-сети, своевременным реагированием на факты возникновения неисправностей с последующими процедурами локализации и восстановлении, является обоснованной.

Неисправное состояние сети передачи данных ведет к невозможности выполнять заданные функции сетевыми службами – основными структурными элементами современных информационных систем. Здесь под службой авторы понимают прикладную задачу, составные части которой могут выполняться в отдельных аппаратно-программных окружениях и взаимодействуют посредством сети передачи данных. Одним из основных показателей информационной системы и, следовательно, IP-сети как ее составной части, является «доступность» или «коэффициент готовности» [1,2].

$$K_{\Gamma} = \frac{T_{\Sigma}}{T_{\Sigma} + T_{\text{НПЛ}}}, \quad (1)$$

где

$T_{\Sigma}$ – суммарное время, в течение которого сеть работоспособна;

$T_{НПЛ}$ – неплановое время простоя, отражающее время, необходимое для проведения работ по устранению сбоев и неисправностей.

Исходя из порядка расчета $K_Г$ (1), повышение «доступности» означает минимизацию значения $T_{НПЛ}$. Одним из способов уменьшения значения времени планового простоя является внедрение современных диагностических средств и эффективных методик диагностирования.

Существующие на сегодня методы диагностирования IP-сети включают в себя многоадресную и одноадресную томографию [2,3,4], выявление неисправностей сети на основе вероятностных рассуждений [5], использование экспертных систем [6] и нейросетевые решения [7]. Перспективным направлением является применение методов Data Mining для поиска закономерностей в работе программных и аппаратных компонентов IP-сетей [8].

**Целью** статьи является разработка диагностической модели IP-сети, которая бы позволяла описать состояние как всей сети, так и отдельной службы в виде, пригодном для формирования на заданном временном интервале базы данных диагностической информации (БДДИ) IP-сети. Полученная БДДИ в дальнейшем может быть использована для выявления с использованием методологии Data Mining закономерностей функционирования компонентов корпоративной IP-сети.

## 2. Разработка диагностической модели корпоративной IP-сети

В основу разрабатываемой модели положим представление корпоративной IP-сети в виде множества служб $S=\{s_1,s_2\ldots s_l\ldots s_L\}, l=\overline{1,L}$, где $L$ – общее количество служб.

*Определение 1.* Источником диагностической информации (ИДИ) называется компонент корпоративной IP-сети, предоставляющий необходимую для определения состояния службы информацию в виде диагностических параметров.

Выделим следующие классы ИДИ, которые отличаются по характеру предоставляемой диагностической информации:

– Программные компоненты. В системе диагностики представлены через параметры, которые описывают динамику функционирования вычислительного процесса.

– Аппаратные компоненты. Рассматриваются как множество параметров, отражающих состояние таких объектов как процессор, память, сетевой интерфейс, устройство хранения данных.

– Каналы связи. В качестве диагностических параметров выступают характеристики физической или логической (в случае использования виртуальных каналов) среды передачи между двумя сетевыми интерфейсами. Для получения характеристик обычно используется сетевой анализатор, подключенный непосредственно к каналу связи, или программные средства на основе протокола ICMP.

Далее в работе в качестве ИДИ мы будем рассматривать только те компоненты, которые предоставляют доступ к значениям диагностических параметров посредством протокола SNMP. Данное условие не сужает область применения модели, поскольку на сегодняшний день подавляющее большинство аппаратных и программных компонентов содержит реализацию указанного протокола.

Обозначим совокупность ИДИ в виде множества $A:=\{a_1,a_i,\ldots a_I\}, i=\overline{1,I}$, где $I$ – общее количество ИДИ в рассматриваемой IP-сети. ИДИ, поддерживая одну или несколько MIB (Management Information Base, База данных управляющей информации), может реализовать описанные в ней SNMP-объекты управления в виде переменных, которые содержат текущие значения соответствующих параметров. В данной модели SNMP-объекту управления, значения которого доступны для контроля, может быть поставлен в соответствие один или более диагностических параметров.

Рассмотрим SNMP-объект «Число пакетов, полученных с ошибкой», который является обязательным в первой и второй версиях MIB, имеющих на сегодняшний день статус стандартов Интернета (RFC 1156 [10] и RFC 1213 [11]). В RFC 1213 переменная, которая должна реализовать указанный выше объект управления, имеет тип «counter» и содержит количество пакетов, полученных с ошибками на текущий момент времени. Упомянутому SNMP-объекту могут быть поставлены в соответствие два диагностических параметра: первый – «число пакетов, полученных с ошибкой», второй – «скорость получения пакетов с ошибками». Последний представляет собой плотность или скорость появления ошибок на определенном промежутке времени и, с точки зрения диагностирования, содержит более полезную информацию.

Диагностические параметры (ДП) по характеру описания свойств компонентов и каналов передачи данных IP-сети можно классифицировать на общие и частные.

*Определение 2.* Частным диагностическим параметром (ЧДП) называется параметр, который отражает индивидуальную характеристику отдельно взятого аппаратного или программного компонента.

Примерами ЧДП являются процент загрузки процессора, объем свободной оперативной памяти, количество пакетов, принятых с ошибками, количество открытых TCP соединений.

*Определение 3.* Общим диагностическим параметром (ОДП) называется параметр, который содержит агрегированную оценку функционирования системы взаимодействующих компонентов.

К классу ОДП относятся такие параметры, как время задержки доставки пакета, доступность службы, джиттер, время реакции при обращении к службе, скорость передачи данных.

Контролируемые диагностические параметры $a_i$ представим в виде множества:

$$\forall a_i \in A\ \exists B_i=\{b_{i1},b_{i2},\ldots,b_{ij_i},\ldots,b_{iJ_i}\},$$

где $j_i=\overline{1,J_i}$, $J_i$ – количество диагностических параметров, предоставляемых ИДИ $a_i$.

Общее количество контролируемых параметров всех ИДИ:

$$N^B=\sum_{i=1}^{I}J_i.$$

На основе данных технической документации и результатов наблюдения за процессом функциониро-

вания IP-сети, человек-эксперт может сформировать множество диагностических параметров $B(s_l)$, значения которых в дальнейшем необходимо учитывать в процессе идентификации состояния некоторой службы $s_l$. Если для всех служб известны множества $B(s_l)$, то для любого параметра $b_{ij_i}$ можно определить множество $S(b_{ij_i}) \in S$. Служба $s_l$ принадлежит множеству $S(b_{ij_i})$ только при условии, что параметр $b_{ij_i}$ используется в процессе определения ее состояния. Следует заметить, что правильность формирования $B(s_l)$ и $S(b_{ij_i})$ зависит, в первую очередь, от профессионального опыта, умения и навыков человека-эксперта.

«Менеджер» посредством протокола SNMP периодически обращается к «агенту», работающему в аппаратно-программном окружении ИДИ $a_i$, с запросом на получение текущего значения параметра $b_{ij_i}$. Теоретически, полученное от «агента» значение запрашиваемого параметра $b_{ij_i}$ может быть использовано для описания некоторого состояния службы $s_l \in S(b_{ij_i})$. Однако, учитывая, что тип переменной, которая реализует SNMP-объект управления, в большинстве случаев является целочисленным на интервале $[1...4294967295]$, допустимое количество состояний службы $s_l$ составляет $4294967295^{|B(s_l)|}$. Идентифицировать такое количество состояний для сохранения и проведения последующего анализа является трудоемкой процедурой и нецелесообразно. На практике человек-эксперт разбивает все множество значений параметра на конечное число подмножеств. Каждое подмножество включает, по его мнению, значения, которые параметр принимает при одном и том же состояния служб $s_l \in S(b_{ij_i})$.

Пусть $D(b_{ij_i})$ – множество значений параметра $b_{ij_i}$, тогда его покрытие может быть записано в виде:

$$D(b_{ij_i}) = \bigcup_{k_{ij_i}}^{K_{ij_i}} D_{ij_i k_{ij_i}}(b_{ij_i}),$$

где

$K_{ij_i}$ – общее количество подмножеств;

$D_{ij_i k_{ij_i}}(b_{ij_i})$ – подмножество значений параметра $b_{ij_i}$.

В данной диагностической модели мы полагаем, что все множества, входящие в покрытие являются взаимно различными. Чем больше $K_{ij_i}$, тем более точно будет отслеживаться динамика функционирования службы $s_l \in S(b_{ij_i})$.

*Определение 4.* Собственным параметром службы $s_l$ называется диагностический параметр $b_{ij_i}$, на множестве значений $D(b_{ij_i})$ которого задано разбиение $D_{ij_i k^0_{ij_i}}(b_{ij_i}) \cup D_{ij_i k^1_{ij_i}}(b_{ij_i})$ такое, что значения из $D_{ij_i k^0_{ij_i}}(b_{ij_i})$ соответствуют работоспособному состоянию службы $s_l$, а значения из $D_{ij_i k^1_{ij_i}}(b_{ij_i})$ – неработоспособному.

*Определение 5.* Диагностический параметр не являющийся собственным параметром службы $s_l$, называется неопределенным параметром службы $s_l$.

В данной модели примем, что множество $D(b_{ij_i})$, а, следовательно, и подмножества $D_{ij_i k_{ij_i}}(b_{ij_i})$, являются вполне упорядоченным на основе отношения < строгого порядка. Мощность и состав $D(b_{ij_i})$ зависят от типа, указанного в описании SNMP-объекта управления, которому соответствует параметр $b_{ij_i}$.

Для каждого $b_{ij_i}$ определим множество характеристических функций $C_{ij_i}$, принимающих в каче-

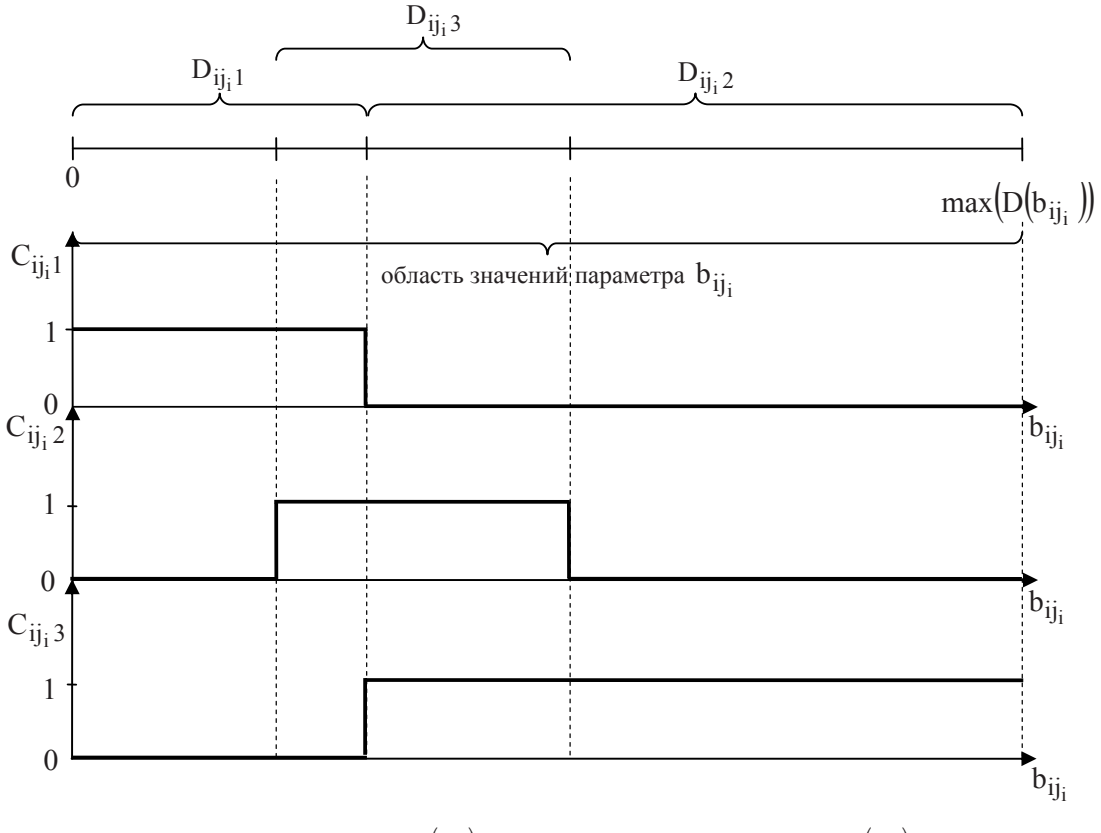
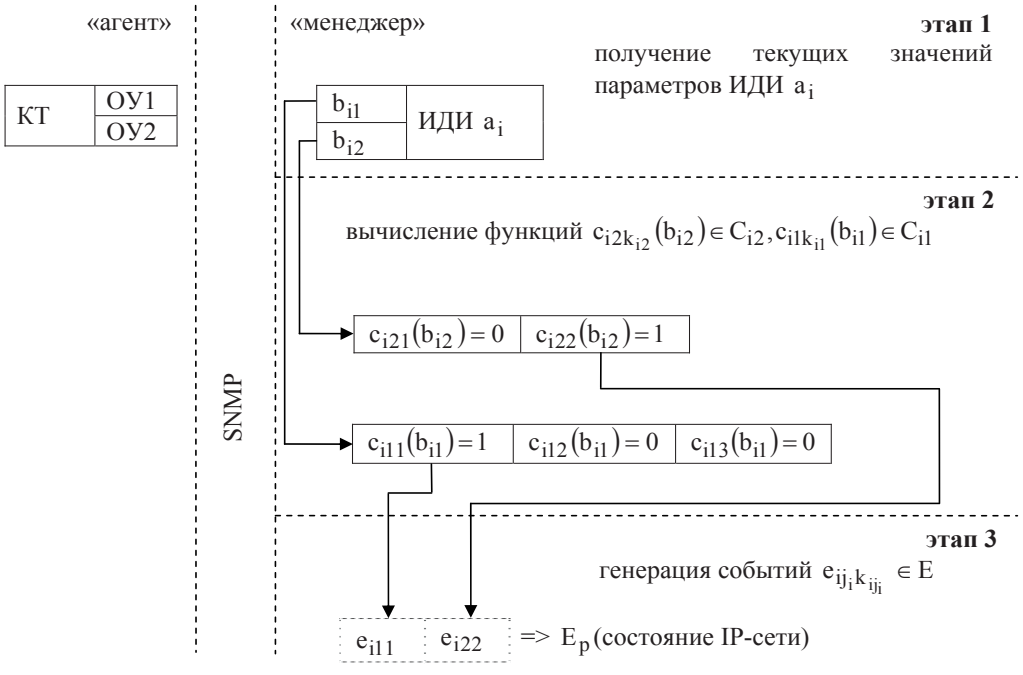



Рис. 1. Пример задания функций $c_{ij_i k_{ij_i}}(b_{ij_i})$, $K_{ij_i} = 3$, на множестве значений $D(b_{ij_i})$ параметра $b_{ij_i}$ ИДИ $a_i$




КТ – компонент IP-сети
ОУ – SNMP-объект управления

Рис. 2. Модель генерации события $e_{ij_ik_{ij_i}} \in E$

стве аргумента значение из множества $D(b_{ij_i})$ (рис. 1): $\forall b_{ij_i} \in B_i \; \exists C_{ij_i} = \left\{c_{ij_i1}(b_{ij_i}), c_{ij_i2}(b_{ij_i}), \ldots, c_{ij_ik_{ij_i}}(b_{ij_i}), \ldots, c_{ij_iK_{ij_i}}(b_{ij_i})\right\}$, где $k_{ij_i} = \overline{1,K_{ij_i}}$, $K_{ij_i}$ – количество функций, определенных на множестве $D(b_{ij_i})$.

Характеристическая функция обладает следующими свойствами:

- Область значений представляет собой множество $\{0,1\}$.
- Являясь сурьективной, функция $c_{ij_ik_{ij_i}}(b_{ij_i})$ принимает единичные значения на множестве $D_{ij_ik_{ij_i}}(b_{ij_i})$, а нулевые – на множестве $D(b_{ij_i}) \setminus D_{ij_ik_{ij_i}}(b_{ij_i})$.
- В общем случае имеет вид:

$$c_{ij_ik_{ij_i}}(b_{ij_i}) = \begin{cases} 1, \text{значение} \, b_{ij_i} \, \text{принадлежит множеству} \, D_{ij_ik_{ij_i}}(b_{ij_i}); \\ 0, \text{значение} \, b_{ij_i} \, \text{принадлежит множеству} \, D(b_{ij_i}) \setminus D_{ij_ik_{ij_i}}(b_{ij_i}). \end{cases}$$

*Определение 6.* Факт принятия функций из $C_{ij_i}$ единичного значения называется событием.

Общее количество событий, инициируемых в отношении заданного параметра равно $K_{ij_i}$.

Из вышесказанного следует, что для обозначения индекса события, которое инициировано параметром $b_{ij_i}$ объекта $a_i$ можно использовать систему индексирования «объект – параметр – функция». Множество событий, инициируемых объектами $a_i$ опишем как $E = \left\{e_{111}, e_{112}, \ldots, e_{ij_ik_{ij_i}}, e_{1J_iK_{ij_i}}\right\}$, где $e_{ij_ik_{ij_i}}$ – событие, для которого в отношении функции $c_{ij_ik_{ij_i}}$ можно сделать вывод: $c_{ij_ik_{ij_i}}(b_{ij_i}) = 1$.

Общее количество событий $e_{ij_ik_{ij_i}} \in E$ равно:

$$N^E = \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J_i} K_{ij_i}.$$

Выделим отдельно подмножество $E(s_l) \subset E$, элементами которого являются события, представляющие собой факт принятия того или иного значения параметрами $B(s_l)$.

Следует заметить, что генерация событий происходит не на стороне SNMP-«агента», а в вычислительной среде модуля системы диагностики, который реализует функции «менеджера». Как показано на рис. 2, модуль периодически и поэтапно выполняет следующие действия:

1) отправляет запрос SNMP-«агентам» на получение текущих значений параметров $b_{ij_i} \in B_i$;

2) вычисляет значение функций $c_{ij_ik_{ij_i}}(b_{ij_i}) \in C_{ij_i}$ для полученных на первом этапе значений параметров $b_{ij_i} \in B_i$;

3) на основе значений функций $c_{ij_ik_{ij_i}}(b_{ij_i}) \in C_{ij_i}$ генерирует событие $e_{ij_ik_{ij_i}} \in E$.

Обозначим моменты времени начала выполнения модулем перечисленных выше действий в виде множества $T = \left\{t_1, t_2, \ldots, t_p, t_P\right\}, p = \overline{1,P}$, где P – количество раз выполнения модулем перечисленных выше этапов. В каждый момент времени $t_p$ сгенерированные на третьем этапе события формируют множество $E_p \subset E$.

*Определение 7.* Множество событий $E_p \subset E$ будем называть описанием состояния IP-сети в момент времени $t_p$.

*Определение 8.* Множество событий $E_p(s_l) = E_p \cap E(s_l)$ будем называть описанием состояния службы $s_l$ в момент времени $t_p$.

Очевидно, что все события $e_{ij_ik_{ij_i}} \in E_p$ имеют одинаковое время возникновения, а общее количество состояний IP-сети, которые можно описать, используя изложенную выше диагностическую модель, равно:

$$N^\Omega = \prod_{i=1}^{I} \prod_{j=1}^{J_i} K_{ij_i}.$$

*Определение 9.* Базой данных диагностической информации (БДДИ) называется набор $\Psi$ записей вида $\psi_p = (E_p, p)$, где $E_p$ – совокупность событий, которые описывают значения диагностических в момент времени p.

*Определение 10.* Диагностической моделью процесса формирования БДДИ IP-сети называется модель, представляемая объектами:

$$M_{Д}=\left\langle S,A\left\{B_i\left\{C_{ij_i},D_{ij_i},\left\{e_{ij_ik_{ij_i}}\right\}_{k_{ij_i}}^{K_{ij_i}}\right\}_{j_i=1}^{J_i}\right\}_{i=1}^{I},T,\Psi\right\rangle, \qquad (2)$$

## 3. Выводы

Обобщим приведенные в статье выкладки в виде следующих ключевых особенностей модели (2):

– IP-сеть представляется в виде конечного множества служб $S$ и ИДИ $A$. Каждый ИДИ $a_i \in A$ в свою очередь является совокупностью доступных для контроля параметров $b_{ij_i} \in B_i$.

– Событие $e_{ij_ik_{ij_i}} \in E$ есть факт принятия параметром $b_{ij_i}$ ИДИ $a_i$ значения из множества $D_{ij_ik_{ij_i}} \subset D\left(b_{ij_i}\right)$ или, используя аппарат характеристических функций, факт принятия функцией $c_{ij_ik_{ij_i}}\left(b_{ij_i}\right)$ единичного значения.

– События генерируются в строго определенные моменты времени $t_p \in T$ и формируют множество $E_p \subset E$.

– Состояние IP-сети в момент времени $t_p \in T$ описывается множеством $E_p \subset E$.

– Состояние службы $s_l$ в момент времени $t_p \in T$ описывается множеством $E_p\left(s_l\right) \subset E\left(s_l\right)$.

– На заданном временном интервале $\left(t_p - t_1\right)$ транзакции $\psi_p = \left(E_p, p\right)$ формируют БДДИ IP-сети.

Научная новизна работы состоит в разработке новой диагностической модели IP-сети (9), которая позволяет сформировать БДДИ для дальнейшего применения методов Data Minig с целью выявления закономерностей в процессе функционирования аппаратных и программных компонентов корпоративной IP-сети.

Практическая ценность предложенной диагностической модели вытекает из возможности ее использования в процессе разработки методики определения состояния IP-сети и ее служб, а также новых методов диагностирования, в основе которых лежит применение подходов искусственного интеллекта и Data Minig.

Литература


1. Ермаков А.А. Основы надежности информационных систем [Текст] : учеб. пособие / А. А. Ермаков – Иркутск: ИрГУПС, 2006. – 151 с.
2. Черкесов, Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов [Текст] : учеб. пособие / Г.Н.Черкесов. – СПб.: Питер, 2005. – 479 с.
3. Coates, M. Internet Tomography [Текст] / M. Coates, A. Hero, R. Nowak B. Yu // IEEE Signal Processing Magazine. – May 2002.
4. Caceres, R. Multicast-based inference of network-internal loss characteristics [Электронный ресурс] / R. Caceres, N.G. Duffield, J. Horowitz, D. Towsley Thiran – CiteSeer. Scientific Literature Digital Library and Search Engine. – Режим доступа: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi= 10.1.1.45.4919&rep=rep1&type=pdf
5. Adams A. The Use of End-to-end Multicast Measurements for Characterizing Internal Network Behavior [Электронный ресурс] / A. Adams, T. Bu, R. Caceres, N. Duffield, J. Horowitz и др. – CiteSeer. Scientific Literature Digital Library and Search Engine. – Режим доступа: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.41.2318.
6. Katzela, I. Schemes for fault identification in communication networks / I.Katzela, M. Schwartz // IEEE/ACM Transactions on Networking. – 1995. – Vol.3, C. 753–764.
7. Кучер, А.В. Динамический анализ и диагностика состояния IP-сети [Электронный ресурс] : дис. ... канд. техн. наук / А.В.Кучер. – М.: РГБ, 2007 (Из фондов Российской Государственной библиотеки). – Режим доступа: http://diss.rsl.ru/diss/05/0616/050616043.pdf.
8. Поморова, О.В. Теоретичні основи, методи та засоби інтелектуального діагностування комп'ютерних систем : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. 05.13.13 Обчислювальні машини, системи та мережі / О.В.Поморова; [Національний університет «Львівська політехніка»]. – Львів, 2007. – 29 с.
9. Klemettinen, M. Rule discovery in telecommunication alarm data [Текст] / M. Klemettinen, H. Mannila, H. Toivonen // Journal of Network and Systems Management. – 1999. – Vol.7(4). – C. 395–423.
10. McCloghrie, K. Management Information Base for Network Management of TCP/IP-based internets [Электронный ресурс] / K. McCloghrie, M. Rose // RFC 1156. – May 1990. – Режим доступу: http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc1156.txt.
11. McCloghrie, K. Management Information Base for Network Management of TCP/IP-based internets: MIB-II [Электронный ресурс] / K. McCloghrie, M. Rose // RFC 1213. – May 1990. – Режим доступу: http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc1213.txt.