

УДК 004.7

Н. Б. Копытчук, д-р техн. наук,
П. М. Тишин, канд. физ-мат. наук, **Р.О. Шапорин**, канд. техн. наук,
В. О. Шапорин

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ АТАКИ НА СЕТЕВЫЕ РЕСУРСЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

***Аннотация.** Рассмотрены вероятностно-временные модели атак на ресурсы компьютерных сетей, представленные сетями Петри-Маркова. Определены основные параметры, от которых зависит вероятность проведения рассмотренной атаки. Проанализированы недостатки данных методов анализа рисков информационной системы. Для их устранения предложено использовать аппарат нечеткой логики и нечеткого вывода. Данный подход позволяет строить модели атак, приближенные к реальным условиям, а также выявить закономерности протекания этих атак.*

***Ключевые слова:** безопасность компьютерных сетей, лингвистические переменные, нечеткая оценка, сети Петри-Маркова, вероятность проведения атак, вероятностно-временные модели атак, нечеткие случайные величины, нечеткие ситуации*

N. B. Kopytchuk, ScD.,
P. M. Tishin, PhD., **R. O. Shaporin**, PhD.,
V. O. Shaporin

NETWORK RESOURCES ATTACKS POSSIBILITY ESTIMATION USING FUZZY LOGIC

***Abstract.** We consider probability-temporal models of attacks on computer networks resources provided by Petri-Markov nets. Identified the main parameters that determine the probability of the considered attacks. Analyzed the shortcomings of these methods of risk analysis information system. To eliminate them, proposed to use fuzzy logic and fuzzy inference. This approach allows us to build a model of the attack close to real conditions, and to identify patterns of occurrence of these attacks.*

***Keywords:** computer network security, linguistic variables, fuzzy inference, Petri-Markov nets, probability of attacks, probability and time model of the attack, fuzzy random variables, fuzzy situation*

М. Б. Копитчук, д-р техн. наук,
П. М. Тишин, канд. ф-м наук, **Р. О. Шапорин**, канд. техн. наук,
В. О. Шапорин

ОЦІНКА ІМОВІРНОСТІ ПРОВЕДЕННЯ АТАКИ НА МЕРЕЖЕВІ РЕСУРСИ З ВИКОРИСТАННЯМ АПАРАТУ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

***Анотація.** Розглянуто ймовірнісно-часові моделі атак на ресурси комп'ютерних мереж, які представлені мережами Петрі-Маркова. Визначено основні параметри, від яких залежить вірогідність проведення розглянутої атаки. Проаналізовано недоліки даних методів аналізу ризиків інформаційної системи. Для їх усунення запропоновано використовувати апарат нечіткої логіки та нечіткого виводу. Даний підхід дає змогу будувати моделі атак, наближені до реальних умов, а також виявити закономірності перебігу цих атак.*

***Ключові слова:** безпека комп'ютерних мереж, лінгвістичні змінні, нечітка оцінка, мережі Петрі-Маркова, ймовірність проведення атак, ймовірнісно-часові моделі атак, нечіткі випадкові величини, нечіткі ситуації*

Сложности последствий атак на доступность информации как ресурсов автоматизированной системы является одной из основных тенденций последних лет в сфере компьютерных преступлений. Доступность информации наряду с конфиденциальностью и целостностью – одним из трех основных критериев информационной безопасности корпоративных вычислительных систем.

С одной стороны, интерес представляет класс атак типа «отказ в обслуживании» (DoS-атаки). В этот класс попадают атаки на компьютерную систему, цель которых – довести систему до такого состояния, в котором ее легитимные пользователи не смогут получить доступ к предоставляемым системой ресурсам (серверам, сервисам) либо этот доступ будет затруднен.

© Копытчук Н.Б., Тишин П.М.,
Шапорин Р.О., Шапорин В.О., 2013

С другой стороны, особое внимание представляют атаки, направленные на под-

мену доверенных объектов сети, так как данный тип атак может привести как к пере-хвату, так и к недоступности информации.

Оба класса атак характеризуются большой неопределенностью и неточностью параметров, от которых зависит вероятность их проведения. Известны методы описания поведения атак с применением сигнатурных методов [1]. Однако данные методы требуют точного описания всех параметров рассматриваемых процессов и не способны на анализ в случаях, когда один или несколько параметров отсутствуют [2].

Поэтому целью данной работы является разработка методов оценки вероятности про-ведения атак в случае, когда параметры, определяющие данную атаку, неопределенны или заданы неточно.

Атаки типа «подмена доверенного объекта» направлены на получение доступа к ресурсам сети со стороны доверенного (легального) объекта. Как правило, эти атаки реализуются с использованием подмены пакетов во время «тройного рукопожатия» при установлении TCP-сессии. Представить процесс данной атаки можно при помощи сети Петри-Маркова (рис.1).

Определение 1. Сеть Петри-Маркова (СПМ) называется структурно-параметрическая модель, заданная парой

$$\Theta = \{\Psi, \gamma\},$$

где Ψ – множество резидентных свойств (структурно-параметрические характеристики); γ – множество вариационных свойств (характеристики состояния).

Резидентные свойства СПМ, в свою очередь, задаются парой

$$\Theta = \{P, M\},$$

где P – сеть Петри; M – случайный процесс.

Сеть Петри P определяет структуру СПМ, а случайный процесс M накладывается на структуру P и определяет временные и вероятностные характеристики СПМ.

Структура СПМ характеризуется одним из четырех показателей:

$$P = \{A, Z, I_A(Z), O_A(Z)\}$$

или

$$P = \{A, Z, I_Z(A), O_Z(A)\},$$

где A – конечное множество позиций; Z – конечное множество переходов; $I_A(Z)$ и $O_A(Z)$ – соответственно входная и выходная функции переходов; $I_Z(A)$ и $O_Z(A)$ – соответственно входная и выходная функции позиций [3, 4].

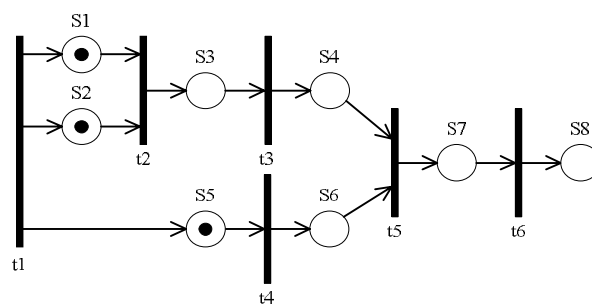


Рис. 1. Модель атаки «подмена доверенного объекта»

В данной модели предусмотрены следующие параметры: t_1 – начальная задержка срабатывания сети; t_2 – перезагрузка легального хоста; t_3 – отправка запроса на установление соединения; t_4 – подбор ответа легального хоста; t_5 – отправка легального ответа; t_6 – передача данных между злоумышленником и сервером; S_1 – легальный хост готов к перезагрузке; S_2 – злоумышленник ожидает перезагрузки легального хоста; S_3 – легальный хост недоступен в сети; S_4 – установление TCP-сессии; S_5 – злоумышленник готов к подбору легального ответа; S_6 – легальный ответ подобран; S_7 – сервер установил соединение с правами легального хоста; S_8 – данные от злоумышленника приняты сервером.

При рассмотрении данной модели переход t_2 может быть получен как ожиданием самостоятельных действий легального хоста, так и быть результатом атаки «отказ в обслуживании» на него. В случае, когда подмененным объектом в сети является сервер или активное сетевое оборудование (точка беспроводного доступа, сетевой экран и т.п.) второй вариант можно считать обязательным.

Матрица переходов для данной сети выглядит следующим образом:

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8
t_1	1	1	0	0	1	0	0	0
t_2	1	1	$S_1 t_2 \cap S_2 t_2$	0	0	0	0	0
t_3	0	0	1	1	0	0	0	0
t_4	0	0	0	0	1	1	0	0
t_5	0	0	0	0	0	0	$S_4 t_5 \cap S_6 t_5$	0
t_6	0	0	0	0	0	0	1	1

В предположении, что плотности распределения вероятностей $f_{S_i t_j}$ являются экспоненциально зависимыми вида

$$f_{S_i t_j} = \lambda_{ij} e^{-\lambda_{ij} \tau} \quad (1)$$

можно определить величины τ_{ij} , которые будут иметь следующий смысл: τ_{12} – среднее время ожидания перезагрузки легального хоста; τ_{22} – среднее время подготовки злоумышленника к атаке; τ_{33} – среднее время отправки запроса на соединение; τ_{46} – среднее время установки ТСР сессии между атакующим и ресурсом; τ_{54} – среднее время подготовки ПО для подбора счетчика ТСР-пакетов; τ_{65} – среднее время подбора счетчика ТСР-пакетов; τ_{76} – среднее время на доставку данных на ресурс от злоумышленника.

Исходя из приведенных параметров, можно рассчитать время прохождения по предложенной сети

$$\begin{aligned} \tau_1 &= \frac{\tau_{12} \tau_{22}}{\tau_{12} + \tau_{22}}, \\ \tau_2 &= \tau_{54} + \tau_{65}, \\ \tau_3 &= \tau_1 + \tau_{33} + \tau_{45}, \\ \tau_4 &= \frac{\tau_3^2 + \tau_2 \tau_3 + \tau_2^2}{\tau_3 + \tau_2}. \end{aligned} \quad (2)$$

Тогда среднее время для всей цепочки событий τ_5 можно определить из соотношения

$$\tau_5 = \tau_4 + \tau_{76}. \quad (3)$$

Пользуясь полученными значениями, можно оценить вероятность проведения данной атаки

$$P = 1 - e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (4)$$

Из рассмотренных моделей можно увидеть, что некоторые состояния и переходы в реальных условиях не могут носить фиксированные значения. Для приближения данной

модели к реальным условиям необходимо ввести в модель нечеткие переменные, описывающие соответствующие параметры рассматриваемых процессов.

Нечеткие модели нашли широкие практические применения при построении нечетких регуляторов, систем распознавания и обработки данных.

В настоящее время обобщение основных операций нечеткой логики вызывается смещением направления активного развития нечеткой логики от моделирования количественных процессов, поддающихся измерению, к моделированию человеческих процессов восприятия и принятия решений на основе гранулирования информации и вычисления словами [5–7].

Моделирование реальных систем нечеткими моделями основано на том, что нечеткие модели типа Сугено и типа Мамдани являются универсальными аппроксиматорами функций [8].

В данной работе изучаются задачи оптимизации нечетких моделей, близкие к тем, которые рассматривались в работах [9–11].

Таким образом, возникает необходимость построения системы нечеткого вывода, позволяющей оценивать вероятностные характеристики исследуемого процесса, используя параметры, введенные в данную систему в зависимостях (2-4). Общий вид построенной системы представлен на рис 2.

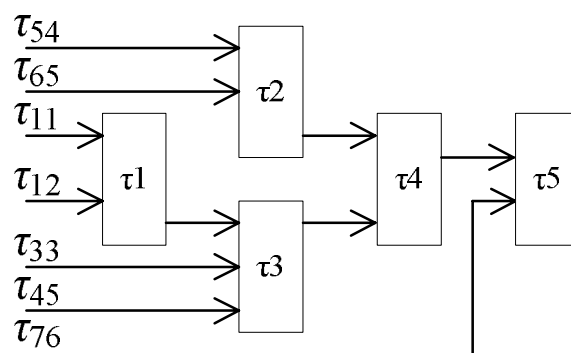


Рис. 2. Составная система нечеткого логического вывода

Будем считать, что каждая подсистема x_j составной системы нечеткого логического вывода характеризуется некоторым множеством признаков $P^j = \{p_m^j\}_{m=1..M^j}$, где M^j – количество признаков j -й системы. В реаль-

ных условиях большинство признаков достаточно тяжело описать с помощью каких-либо четких величин или характеристик. Это может быть связано с качественным характером величин или же трудностями их четкого описания. Для формализации нечеткого характера признаков системы определим их как лингвистические переменные.

Определение 2: Лингвистической переменной называется кортеж из пяти элементов $(X, T(X), U, G, M)$, где X – имя ЛП, $T(X)$ – термножество ЛП, то есть множество лингвистических значений, каждое из которых представляет собой нечеткое множество на базовом множестве U , G – множество синтаксических правил, порождающих имена значений ЛП, M – множество семантических правил, ставящих в соответствие каждому терму ЛП соответствующее нечеткое множество [3, 4]. Пример ЛП, описывающей время передачи сообщения, представлен на рис. 3.

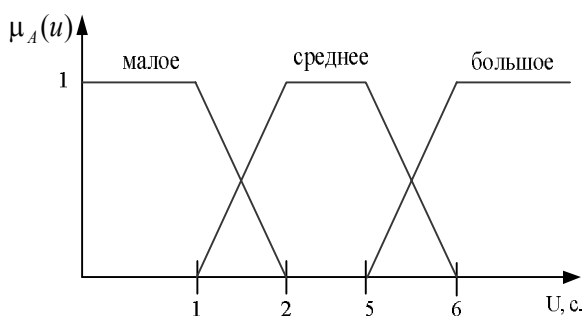


Рис.3. Лингвистическая переменная «время передачи сообщения»

Для определения лингвистических переменных нужно, прежде всего, определиться с интервалами, на которых определяются параметры модели.

В данной модели интервалы U_{ij} изменения величин τ_{ij} , описываемых соотношениями (1) и (2), задаются в соответствии со следующими значениями $R_{U_{ij}}$:

$$R_{U_{12}} = [600 - 36000 \text{ с}];$$

$$R_{U_{22}} = [10 - 20 \text{ с}];$$

$$R_{U_{33}} = [0,2 - 0,4 \text{ с}];$$

$$R_{U_{46}} = [0,05 - 0,15 \text{ с}];$$

$$R_{U_{54}} = [0,5 - 7 \text{ с}];$$

$$R_{U_{65}} = [1,5 - 5 \text{ с}];$$

$$R_{U_{76}} = [0,3 - 0,7 \text{ с}].$$

Таким образом, исходная задача определяется набором S подсистем нечеткого вывода. Каждая s -я подсистема ($s = \overline{1, S}$) из показанных на рис. 2 определяется набором лингвистических переменных, которые, в свою очередь, задаются соотношениями

$$p_m^j = \langle n_m^j, T_m^j, D_m^j, G_m^j, O_m^j \rangle, p_m^j \in P^j,$$

где n_m^j, T_m^j, D_m^j – соответственно имя, термножество и базовое множество m -го признака j -й системы, а G_m^j и O_m^j – множества синтаксических и семантических правил соответственно.

Каждый терм термночества является нечетким множеством базового множества соответствующей лингвистической переменной и определяется функцией принадлежности $\mu_{mk}^j(p_m^j)$, $k = \overline{1..K_m^j}$, где K_m^j – количество термов соответствующего признака.

Таким образом выбирая параметры S -й подсистемы ($s = \overline{1, S}$), переменным p_m^j ставятся в соответствие конкретные параметры рассматриваемой модели. Для упрощения записи обозначим лингвистические переменные, соответствующие параметрам модели, через $\alpha_{ij}(A_k)$, $k = \overline{1, 5}$. Описанное соответствие позволяет установить взаимнооднозначное соответствие между параметрами S -й подсистемы и лингвистическими переменными $A_{k_{ij}}$. Теперь обозначим через $\mu_{\text{вх}}^j(x_j, s)$ $j = \overline{1, J}$ функции принадлежности входа x_j s -й подсистемы, где $m = 1, \dots, N_j(s)$ и $N_j(s)$ – количество функций принадлежности, соответствующих J -му входу подсистемы. Тогда данные функции принадлежности $\mu_{\text{вх}}^j(x_j, s)$, $i = 1, \dots, N_j(s)$ входных параметров в данной подсистеме определяются формулами

$$\mu_{\text{вх}}^j(x_j) = \begin{cases} 0, x_j \leq a_i^j, \\ \frac{x_j - a_i^j}{b_i^j - a_i^j}, a_i^j \leq x_j \leq b_i^j, \\ 1, b_i^j \leq x_j \leq c_i^j, \\ \frac{d_i^j - x_j}{d_i^j - c_i^j}, c_i^j \leq x_j \leq d_i^j, \\ 0, x_j \geq d_i^j, \end{cases} \quad (5)$$

где параметры $a_i^j, b_i^j, c_i^j, d_i^j$.

В общем случае нечеткую ситуацию, возникающую в системе, будем описывать набором нечетких вероятностных величин. В общем случае дискретная нечеткая случайная величина (НСВ) [3]

$$P_r = \{A_1/P_1, A_2/P_2, \dots, A_n/P_n\}, \quad (6)$$

где A_1, A_2, \dots, A_n – нечеткие значения, которые величина принимает с вероятностями P_1, P_2, \dots, P_n .

Значения НСВ являются взаимоисключающими, поэтому сумма вероятностей этих значений должна быть равна 1, т. е. должно выполняться условие нормирования НСВ:

$$P_1 + P_2 + \dots + P_n = 1.$$

В данном случае нечеткая ситуация описывается следующим набором величин:

$$\left\{ \frac{\alpha_{ij}(A_k)}{P_{ij}^k} \right\}_{k=1}^5, \sum_{k=1}^5 P_{ij}^k = 1, \quad (7)$$

где $A_{k_{ij}}$ – набор термов лингвистической переменной α_{ij} .

Каждая S -я подсистема ($s = \overline{1, S}$) из показанных на рис. 2 определяется следующими исходными данными:

заданием функций принадлежности выхода S -й подсистемы, которые обозначим через $\mu_{\text{вых}}^i(s)$, где $i = \overline{1, N_{\text{вых}}(s)}$, а $N_{\text{вых}}(s)$ – количество правил нечеткой базы знаний для S -й подсистемы;

определением заключений правил $\sigma_i(U, s)$, которые задаются линейной функцией от входов

$$\sigma_i(U, s) = \sigma_{i0}(U, s) + \sum_{j=1}^J \sigma_{ij}(U, s)x_j \quad (8)$$

$$s = \overline{1, S}, \quad i = \overline{1, N_{\text{вых}}(s)}.$$

При этом отметим, что в системе нечеткого вывода степени принадлежности входных векторов $X^* = \{x_j^*\}_{j=1}^J$ к значениям $\sigma_i(U, s)$ рассчитывается следующим образом:

$$\mu_{\text{вых}}^i(X^*, s) = \bigcap_{j=1, J} \mu_{\text{вх}}^j(x_j^*, s),$$

$$i = \overline{1, N_{\text{вых}}(s)}, \quad s = \overline{1, S},$$

где \bigcap – операция t-нормы, а все величины определяются соотношениями (1).

Для определения значения выхода S -й подсистемы может применяться выражение

$$y(s) = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{вых}}} \mu_{\text{вых}}^i(X^*, s)\sigma_i(U, s)}{\sum_{i=1}^{N_{\text{вых}}} \mu_{\text{вых}}^i(X^*, s)}, \quad (9)$$

где $\mu_{\text{вых}}^i(X^*, s)$ определяется соотношением (5), а $\sigma_i(U, s)$ – соотношением (8).

Таким образом, в данной работе предложен метод оценки вероятности проведения атаки «подмена доверенного объекта» в случае, когда начальные параметры заданы неточно, а промежуточные состояния модели также неопределенны.

Список использованной литературы

1. Радько Н. М. Риск-модели информационно-телекоммуникационных систем при реализации угроз удаленного и непосредственного доступа // Н. М. Радько, И. О. Скобелев. – М. : РадиоСофт, 2010. – 232 с.
2. Шапорин В. О. Нечеткие лингвистические модели обеспечения безопасности компьютерных сетей / В. О. Шапорин, П. М. Тишин, Н. Б. Копытчук, Р. О. Шапорин. // Современные информационные и электронные технологии: 14-я международная научно-практическая конференция. – Одесса : С. 155 – 156.
3. Ларкин Е. В. Имитационное моделирование отказов-восстановлений с примене-

нием сетей Петри-Маркова / Е. В. Ларкин // Вестник компьютерных и информационных технологий. – М. : – 2006. – № 12. ООО Издательский дом "Спектр". – С. 35 – 38.

4. Ларкин Е. В. Форматы данных для структурно-параметрического описания сетей Петри-Маркова / Е. В. Ларкин, В. А. Соколов, В. В. Котов, Н. А. Котова // Успехи современного естествознания. – М. : Академия естествознания. – 2008. – № 1. – С. 43–47.

5. Zadeh L. A. Fuzzy Logic = Computing with Words, *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*, (1996), *IEEE Computational Intelligence Society*, Vol. 4, pp.103 – 111.

6. Zadeh L. A. Toward a Theory of Fuzzy Information Granulation and its Centrality in Human Reasoning and Fuzzy Logic. *Fuzzy Sets and Systems*, (1997), *International Fuzzy Systems Association*, pp. 111 – 127.

7. Zadeh L. A. From Computing with Numbers to Computing with Words – from Manipulation of Measurements to Manipulation of Perceptions, 1999, *IEEE Trans. on Circuits and Systems–I: Fundamental Theory and Applications*, pp. 105 – 119.

8. Jang J.-S.R., Mizutani E., and Sun C.T. Neuro-Fuzzy and Soft Computing. A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence. Jang J.-S.R., *Prentice-Hall International*, 1997, 640 p.

9. Батыршин И. З. Параметрические классы нечетких конъюнкций в задачах оптимизации нечетких моделей / И. З. Батыршин // Исслед. по информ., Казань : Отечество. – 2000. – С. 63 – 70.

10. Батыршин И. З. Оптимизация нечетких моделей Мамдани по параметрам операций / И. З. Батыршин, А. Э. Мотыгуллин. // Исслед. по информ. – Казань : Отечество. – 2000. – С. 71 – 76.

11. Салимов А. Х. Построение нейро-нечетких моделей Сугено с параметрическими операциями / А. Х. Салимов, И. З. Батыршин // Исслед. по информ., Казань : Отечество, 2001. – С. 97 – 104.

1. Radko N.M., and Skobelev I.O. Risk-modeli informatsionno-telekommunikatsionnykh sistem pri realizatsii ugroz udalennogo i neposredstvennogo dostupa [Risk Model for Information and Telecommunication systems in the Realization of threats Remote and Immediate Access], (2010), Moscow, Russian Federation, *RadioSoft*, 232 p. [In Russian].

2. Shaporin V.O., Tishin P.M., Kopytchuk N.B, and Shaporin R.O. Nechetkie lingvisticheskie modeli obespecheniya bezopasnosti kompyuternykh setey [Fuzzy Linguistic Models of Computer Network Security]. *Modern Information and Electronic Technologies: 14th International Scientific and Practical Conference*, (2013), Odessa, Ukraine, pp. 155 – 156 (In Russian).

3. Larkin E.V. Imitatsionnoe modelirovanie otkazov–vosstanovleniy s primeneniem setey Petri–Markova [Simulation of Fault-recoveries Using Petri–Markov nets], (2006), *Bulletin of Computer and Information Technologies*, Moscow, Russian Federation, Publishing house “Spectrum”, No. 12, pp. 35 – 38 (In Russian).

4. Larkin E.V., Sokolov V.A., V.V. Kотов, and N.A. Kотов. Formatyi dannykh dlya strukturno–parametricheskogo opisaniya setey Petri–Markova [Data Formats for Structural and Parametric Description of Petri–Markov nets], (2008), Moscow, Russian Federation, *Successes of Modern Natural Science Academy of Natural Sciences*, No. 1, pp. 43 – 47 (In Russian).

5. Zadeh L.A. Fuzzy Logic = Computing with Words, (1996), *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*, *IEEE Computational Intelligence Society*, Vol. 4, pp. 103 – 111 (In English).

6. Zadeh L.A. Toward a theory of Fuzzy Information Granulation and its Centrality in Human Reasoning and Fuzzy Logic, (1997), *Fuzzy Sets and Systems*, *International Fuzzy Systems Association*, pp. 111 – 127 (In English).

7. Zadeh L.A. From Computing with Numbers to Computing with Words – from Manipulation of Measurements to Manipulation of Perceptions, (1999), *IEEE Trans. on Circuits and Systems–I: Fundamental Theory and Applications*, pp. 105 – 119 [In English].

Получено 09.10.2013

References

8. Jang J.-S.R., Sun C.T., and Mizutani E.A. Computational Approach to Learning and Machine Intelligence, (1997), *Neuro-Fuzzy and Soft Computing. Prentice-Hall International*, 640 p. (In English).

9. Batirshin I.Z. Parametricheskie klassyi nechetkih kon'yunktsiy v zadachah optimizatsii nechetkih modeley [Parametric Classes of Fuzzy Conjunctions in Problems of Optimization of Fuzzy Models], (2000), *Research in Informatics*, Kazan, Russian Federation, *Otechestvo Publ.*, No. 2, pp. 63 – 70 (In Russian).

10. Batirshin I.Z., and Motygullin A.E. Optimizatsiya nechetkih modeley Mamdani po parametram operatsiy [Optimization of Mamdani Fuzzy Models in the Parameters of Operations], (2000), *Research in Informatics*, Kazan, Russian Federation, *Otechestvo Publ.*, pp. 71 – 76 (In Russian).

11. Salimov A.H., and Batirshin I.Z. Postroenie neyro-nechetkih modeley Sugeno s parametricheskimi operatsiyami [The Construction of Neuro-Sugeno Fuzzy Models with Parametric Operations], (2001), *Research in Informatics*, Kazan, Russian Federation, *Otechestvo Publ.*, pp. 97 – 104 [In Russian].



Копытчук Николай Борисович, д-р техн. наук, профессор каф. компьютерных интеллектуальных систем и сетей Одесского нац. политехн. ун-та, e-mail: knb47@mail.ru. Тел.: 067-4861023



Тишин Петр Металинович, канд. физ-мат. наук, доц. каф. компьютерных интеллектуальных систем и сетей Одесского нац. политехн. ун-та, e-mail: tik88@mail.ru. Тел.: 098-8050448



Шапорин Руслан Олегович, канд. техн. наук, доц. каф. компьютерных интеллектуальных систем и сетей Одесского нац. политехн. ун-та, e-mail: shaporin@ukr.net. Тел.: 067-4877362



Шапорин Владимир Олегович, ст. преподаватель каф. компьютерных интеллектуальных систем и сетей Одесского нац. политехн. ун-та, e-mail: shaporin_v@ukr.net. Тел.: 093-5643450