

ЗАСТОСУВАННЯ МЕРЕЖ ПЕТРІ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Динамічна і складна природа надзвичайних ситуацій і процесів їх ліквідації вимагає нетрадиційних і гнучких підходів для їх вирішення. Мета цієї статті – надати короткий опис кольорових мереж Петрі з часовою складовою, а також застосування мереж Петрі для моделювання надзвичайних ситуацій.

Ключові слова: моделювання процесів, динамічні системи, мережі Петрі, надзвичайні ситуації, система управління надзвичайними ситуаціями.

Динамическая и сложная природа чрезвычайных ситуаций и процессов их ликвидации требует нетрадиционных и гибких подходов для их решения. Цель этой статьи – дать краткое описание цветных сетей Петри с часовой составляющей, а также применение сетей Петри для моделирования чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: моделирование процессов, динамический системы, сети Петри, чрезвычайные ситуации, система управления чрезвычайными ситуациями.

Dynamic and complex nature of emergencies and processes of their liquidation requires non-traditional and flexible approaches to solve them. The purpose of this paper is to give a brief introduction to a Petri nets with color and time, and their application to modeling emergency response.

Key words: process modeling, dynamic systems, Petri nets, emergencies, emergency management system.

Вступ

Опис такого динамічного явища, як надзвичайна ситуація (НС) за допомогою одних лише функціональних та інформаційних моделей явно недостатній. Необхідна модель, яка б відображала часові характеристики і взаємозв'язки між процесами, які протікають протягом НС. Специфіка процесу розвитку НС та процесу її ліквідації така, що ці два дуже складних і динамічних процеси активно взаємодіють між собою. Складність обстановки, яка утворюється в результаті аварій, що пов'язані з надзвичайними ситуаціями, вимагає від оперативних груп ліквідації таких ситуацій прийняття рішень, які передбачають оцінку обстановки, визначення загрози від розвитку ситуації та визначення сил та засобів для ліквідації наслідків надзвичайної ситуації.

Аналіз останніх досліджень

Аналіз виникнення надзвичайних ситуацій природного характеру у світі і, зокрема, в Україні протягом останніх років показує тенденцію постійного зростання їх кількості та масштабності. Вчені протягом багатьох років займаються аналізом систем попередження, запобігання та прогнозування розвитку НС. У дослідженні [1] проведено інформаційний аналіз структурних компонент НС та представлено схему інтегральної термінальної системи координації допустимих стратегій ліквідації НС. У роботі [2]

проаналізовано декілька найбільш розповсюджених у Європі систем підтримки прийняття рішень (СППР) на основі багатокритеріального аналізу для управління НС на атомних станціях – RODOS та Web-NIPRE. Для моделювання динамічних процесів при управлінні НС на атомній електростанції у праці [3] розглянуто апарат мереж Петрі як більш універсальний та ефективний підхід для моделювання складних процесів.

Постановка задачі

Надзвичайні ситуації, такі як аварії, пожежі на хімічних підприємствах ліквідуються аварійно-рятувальними підрозділами МНС спільно зі співробітниками підприємств. У всіх випадках для безпечної розстановки сил і засобів, вибору маршруту проходження до місця аварії, необхідно знати просторово-часовий розподіл концентрації хімічних речовин, а також розміри зон дії зазначених вражаючих факторів та багато інших показників розвитку НС. Отже, постає задача в розробці ефективної моделі прогнозування розвитку НС та визначення ліквідаційних заходів зі зміною часу та обстановки.

1. Інформаційний аналіз надзвичайних ситуацій

Для сучасного технологічно розвинутого суспільства, яке значною мірою залежить від енергетичних джерел, транспортної інфраструктури

тощо, навіть незначна НС розглядається як серйозна загроза безпеці окремої людини, суспільству, економіці країни та навколишньому середовищу. Їхнє прогнозування, завчасне попередження виникнення чи інформування населення про наявні джерела загроз та рівень їх небезпеки – основне завдання структурних підрозділів МНС України.

Ефективним шляхом вирішення завдання є автоматизація та координація всіх етапів процесу ліквідації НС [1]:

- комплексна оцінка й класифікація об'єкта захисту за рівнем небезпеки;
- наукове дослідження і вибір ресурсів МНС;
- системний аналіз функціонування підрозділів МНС;
- наукове дослідження і вибір шляхів вирішення завдань, що виникають;
- проектування автоматизованих систем управління оперативними підрозділами МНС при ліквідації НС;
- розроблення та впровадження інформаційних і телекомунікаційних систем керування, аналіз цільового їх використання.

У передаварійному стані техногенної або технологічної системи для оперативного управління необхідно в короткий термін провести конструктивний аналіз джерел загроз та рівень небезпеки, а також виявити шляхи їх ліквідації. Для цього необхідно для кожної проблеми на основі опрацювання потоків вхідних даних від аварійного об'єкта побудувати її логіко-математичну модель і прив'язати її до структурно-параметричного базису простору станів та стратегічних цілей функціонування.

Основні етапи моделювання розвитку та вирішення НС [1]:

- встановити оптимальну траєкторію руху, яка уникає появи НС;
- спрогнозувати сценарій розвитку подій (збільшення та зменшення кількості джерел загроз) і їхній ступінь близькості до граничних ліній аварійних режимів;
- виявити зовнішні фактори впливу на сценарій розвитку можливих ситуацій та появи потенційно нових джерел загроз, що провокуватимуть проблемні ситуації;
- проаналізувати можливі варіанти уникнення або принципового вирішення проблемних ситуацій, використовуючи класи допустимих стратегій;

– на підставі інформаційно-цільового аналізу вибрати оптимальну стратегію, тактику і план дій вирішення проблемних ситуацій, передати їх на швидке виконання як оперативному персоналу, так і в АСУ, контролювати поточний стан їх виконання, вносити потрібні корективи.

2. Моделювання НС за допомогою мережі Петрі

Мережі Петрі є математичним апаратом для моделювання динамічних дискретних і безперервних систем і процесів. Інтерпретація мереж Петрі заснована на поняттях умови й події. Стан системи описується сукупністю умов. Функціонування системи складається в здійсненні послідовності подій. У мережі Петрі умови моделюються позиціями, події – переходами. Передумови події представляються вхідними позиціями відповідного переходу, постумови – вихідними позиціями [4].

Мережа Петрі є дводольним орієнтованим графом, множина вершин якого розбивається на дві підмножини й не існує дуги, що з'єднує дві вершини з однієї підмножини [4].

Маркування мережі Петрі визначає її стан у кожний момент часу і змінюється відповідно до правил, визначених у [4; 5]. Початкове маркування – це розміщення токенів у вершинах мережі до початку моделювання.

Отже, структура мережі Петрі може бути представлена 4-ма множинами [5]:

$$N = (P, T, A, M^0), \quad (1)$$

де $P = \{p_1, p_2, \dots, p_N\}$ – скінченна множина позицій;

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_L\}$ – скінченна множина переходів, причому $P \cap T = \emptyset$;

$A \in (P \times T) \cup (T \times P)$ – скінченна множина орієнтованих дуг, де $(P \times T) \neq \emptyset$ і $(T \times P) \neq \emptyset$;

$M^0 = \{m_1^0, m_2^0, \dots, m_N^0\}$ – початкове маркування.

Сценарії, які породжуються мережевими моделями Петрі, відрізняються від звичайних тим, що містять безліч взаємодіючих паралельних процесів, які управляються комбінацією подій, що відбулися. В аналізі мереж Петрі динаміка поведінки може бути представлена таблицями переходів від однієї розмітки до іншої і відповідними ним графами переходів.

Приклад простої мережі Петрі наведено на рис. 1.

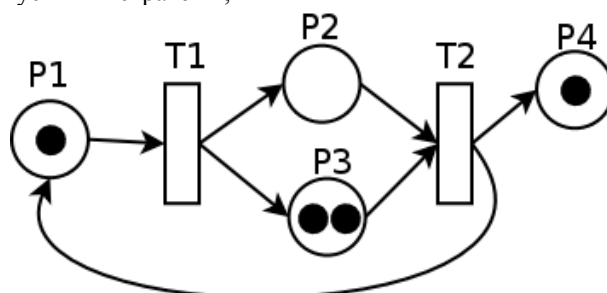


Рис. 1. Мережа Петрі

Для того щоб представити систему засобами мереж Петрі, потрібно [6, с. 70]:

- виділити події, що виникають у системі, і поставити у відповідність кожній події перехід мережі Петрі;
- з'ясувати умови, за яких виникає кожна з подій, і поставити у відповідність кожній умові позицію мережі Петрі;
- визначити кількість фішок у позиції мережі Петрі, що символізує виконання умови;
- з'єднати позиції та переходи відповідно до логіки виникнення подій у системі: якщо умова передуює виконанню події, то з'єднати в мережі Петрі відповідну позицію з відповідним переходом; якщо умова є наслідком виконання події, то з'єднати в мережі Петрі відповідний перехід з відповідною позицією;
- з'ясувати зміни, які відбуваються в системі при здійсненні кожної події, і поставити у відповідність змінам переміщення визначеної кількості фішок із позицій у переходи та з переходів у позиції;
- визначити числові значення часових затримок у переходах мережі Петрі;
- визначити стан мережі Петрі на початку моделювання.

Для моделювання різних процесів необхідно кількісно розглядати час [4]. *Стохастичні мережі Петрі (StochasticPetriNets)* – ряд часових мереж, що розглядаються як сукупність взаємодіючих процесів, може бути віднесений до класу систем, у якому ймовірності переходів з одного стану в інший залежать від поточного стану всієї системи. Описані вище мережі Петрі не дозволяють досліджувати системи, взаємодіючі процеси яких мають імовірнісний характер. З цією метою вводиться клас стохастичних PN, характеристики яких є імовірнісними, тобто вводиться функція щільності ймовірності часу спрацювання переходів чи часу знаходження міток у позиціях [7].

Стохастична мережа Петрі може бути представлена 5-ма множинами:

$$N = (P, T, A, M^0, \Lambda), \quad (2)$$

де P – скінченна множина позицій;

T – скінченна множина переходів;

A – скінченна множина орієнтованих дуг, де $A \in (P \times T) \cup (T \times P)$;

M^0 – початкове маркування;

Λ – множина значень або функцій $\lambda(M)$ часових затримок для кожного переходу.

Кольорова мережі Петрі. Для багатьох завдань моделювання необхідно розрізняти різні типи інформації й істотних потоків, які зустрічаються в системі. У відомій мірі це може досягатися окремими структурами мереж Петрі для кожного з типів потоку, які синхронізуються тільки в переходах. Але із цим методом модель губить свою подібність із вихідною системою, де різні типи

потоків часто використовують однакові маршрути передачі [4].

Кольорова мережа Петрі може бути представлена [8]:

$$N = (P, T, A, \Sigma, C, N, E, G, I), \quad (3)$$

де P – скінченна множина позицій;

T – скінченна множина переходів;

A – скінченна множина орієнтованих дуг, де $A \in (P \times T) \cup (T \times P)$;

Σ – множина всіх можливих кольорів, операцій і функцій, що використовуються в мережі;

C – функція, яка ставить у відповідність для кожної позиції з множини P кольори з множини Σ ;

N – функція, яка визначає можливі переходи для кожної позиції;

E – функція, яка визначає для кожної дуги $a \in A$ вираз e ;

G – функція, яка визначає для кожного переходу $t \in T$ умову збудження g ;

I – функція, яка визначає для кожної позиції $p \in P$ вираз ініціалізації i . Вираз i визначає для кожної позиції множину токенів із відповідними кольорами.

Ієрархічні мережі Петрі (HierarchicalPetriNets – HPN) є узагальненням мереж Петрі і служать для моделювання ієрархічних систем, які разом із неподільними, атомарними компонентами містять складні компоненти, які представляють окремі підсистеми [9]. Для побудови HPN безліч переходів розбивається на підмножини простих і ієрархічних переходів. Простим переходам відповідають елементарні інтерпретації мережі Петрі. Ієрархічні переходи подаються певними фрагментами мережі Петрі в розгалуженнях. Введення ієрархічної будови в мережеві PN-моделі істотно розширює моделюючі можливості мереж Петрі [7].

Вкладені мережі Петрі (NestedPetriNets – NPN) є одним із сучасних інструментів моделювання і дослідження паралельно працюючих систем, що володіють певною незалежністю і власною активністю. Вони є розширенням макрочислових мереж Петрі. Поява зазначеного типу мереж Петрі пов'язана з бажанням дослідників мати інструмент для адекватного і зручного представлення систем зі складною ієрархічною і мультиагентною структурою.

У вкладених мережах Петрі мітки представляють локальні ресурси у вершинах системної мережі, вони можуть бути складними об'єктами з мережевою структурою і моделюватися мережами Петрі іншого виду – сателітними мережами. Структурно така мережа складається з системної мережі і набору мереж-міток (сателітів) $EN_i, i = 1, \dots, n$. При цьому, між деякими переходами системної мережі і переходами мереж-міток може бути встановлений зв'язок, що дозволяє тільки їхнє спільне спрацювання. Такі переходи називаються *поміченими*. Відмінність

від ієрархічних мереж Петрі становлять механізми синхронізації роботи мереж Петрі різного рівня. При цьому передбачається, що у всіх мережах всі переходи, що беруть участь у роботі, є активними, тобто в їхніх вхідних позиціях є необхідні для спрацювання ресурси [7].

3. Моделювання надзвичайних ситуацій

Для динамічного моделювання процесу ліквідації НС обрана нотація, що базується на мові мереж Петрі. Вибір обумовлений поєднанням потужного математичного апарату мереж Петрі з наочністю подання, можливостями моделювання причинно-наслідкових зв'язків між подіями паралельних і конфліктних ситуацій, оцінки тимчасових і випадкових характеристик процесів.

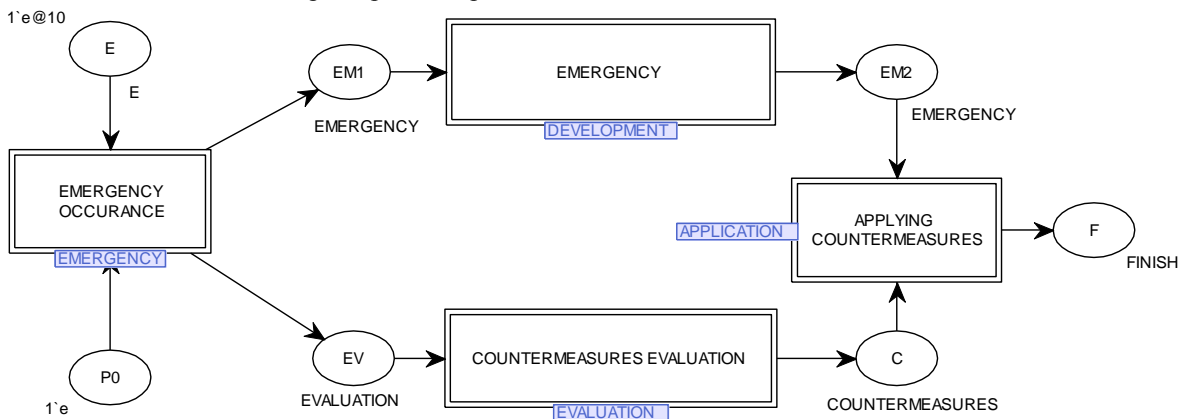


Рис. 2. Загальна модель розвитку та подолання надзвичайної ситуації

Використання ієрархічного підходу до моделювання процесів за допомогою мереж Петрі дозволяє досліджувати характеристики процесів на різних рівнях шляхом заміни групи станів та переходів окремими блоками. У результаті було виділено 4 основні групи переходів:

EMERGENCY OCCURANCE – процеси виникнення НС та повідомлення контролюючих державних органів про НС;

EMERGENCY – процеси розвитку та поширення НС;

COUNTERMEASURES EVALUATION – прогнозування розвитку та зони поширення наслідків НС, втрат серед населення та визначення ліквідаційних заходів для подолання НС;

APPLYING COUNTERMEASURES – заходи з ліквідації НС.

У свою чергу, блок COUNTERMEASURES EVALUATION є також ієрархічно організованим (див. рис. 3).

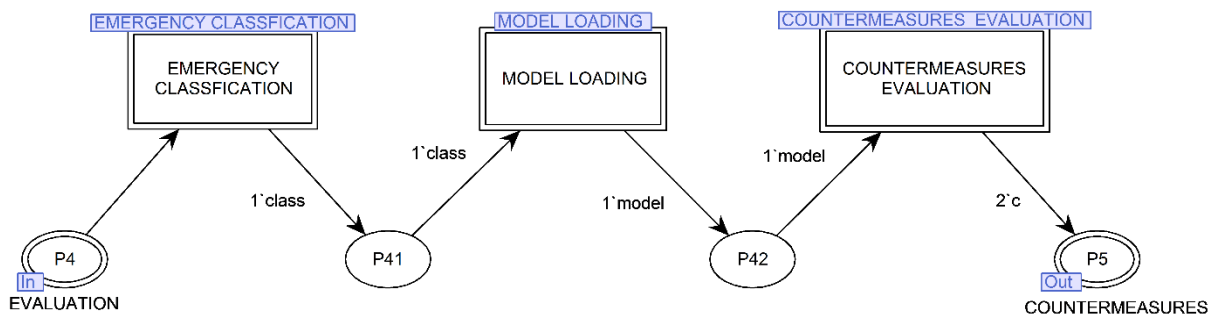


Рис. 3. Загальна модель процесу прогнозування розвитку та наслідків НС

Ієрархічний блок COUNTERMEASURES EVALUATION складається з трьох основних етапів:

EMERGENCY CLASSIFICATION – класифікація НС та визначення її масштабу;

MODELLOADING – завантаження параметрів для конкретного класу НС;

COUNTERMEASURES EVALUATION – власне сам блок розрахунку заходів для подолання НС.

На рис. 4 представлено загальну динамічну модель розвитку НС для аварії з викидом хлору з використанням класичної мережі Петрі.

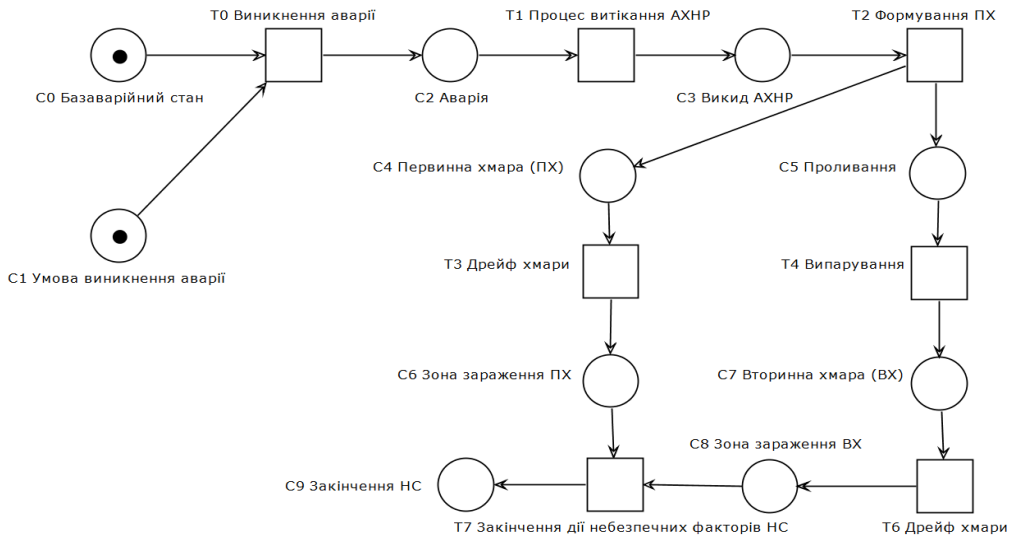


Рис. 4. Динамічна модель розвитку НС з використанням класичної мережі Петрі

На рис. 5 представлено модель розвитку НС з використанням кольорової мережі Петрі з часовими затримками.

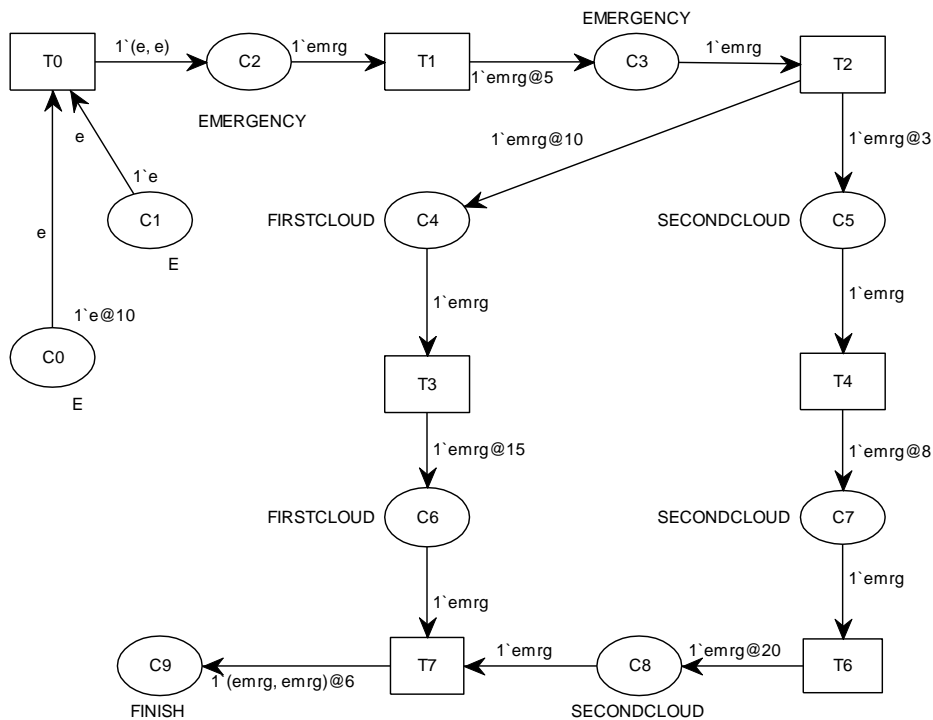


Рис. 5. Динамічна модель розвитку НС з використанням кольорової мережі Петрі

Пропонована динамічна модель ліквідації НС, крім моделювання часових характеристик розвитку НС, дозволяє:

- отримати прогноз розвитку НС в часі за заданим початковим значенням;
- моделювати взаємодію організаційних процесів ліквідації НС та процесів розвитку аварії (катастрофи);
- прогнозувати динаміку характеристик розвитку НС, а також величину втрат від НС з урахуванням прийнятих заходів.

Висновки

У процесі ліквідації НС перед підрозділами МНС виникає потреба виявлення джерела загроз та рівень його небезпеки, встановлення причини появи НС, потенційних шляхів поширення та

тривалості. Важливе значення при цьому має визначення сил і засобів для ліквідації НС у короткі терміни та з достатньою ефективністю.

Процеси НС за своєю природою є динамічними з великим рівнем невизначеності, отже, при їхньому моделюванні доцільно використовувати динамічні мережеві моделі, що реалізують умовно-подійні системи. З теоретичної точки зору мережі Петрі є достатньо формалізованими для моделювання будь-яких систем. Кольорові мережі Петрі дозволяють більш компактно та детально побудувати модель досліджуваного процесу, на відміну від звичайних мереж Петрі чи моделі станів та переходів. Більшість відомих підходів: дерева рішень, діаграми потоків даних, діаграми «сутність – зв'язок», діаграми діяльності – не

можуть відобразити динамічну поведінку систем із послідовним виконанням операцій, конфліктами, паралелізм, комбінування або пріоритетність операцій. Перевага мереж Петрі у їхній інтерактивності, що дозволяє спостерігати та аналізувати систему у реальному часі, а також моделювати як послідовні, так і паралельні операції. Моделювання на основі динамічної моделі прогнозування розвитку НС дозволяє

спрогнозувати і зафіксувати параметри розвитку НС, відповідні показники необхідних заходів, обсяги необхідних ресурсів. На основі цих показників на етапі планування ліквідації НС здійснюється визначення переліку необхідних і здійснених заходів. Цей перелік є множиною допустимих заходів, використовуваним при формуванні плану ліквідації НС на основі динамічної моделі ліквідації НС.

ЛІТЕРАТУРА

1. Малець І. О. Інформаційно-системні моделі управління в термінальних ієрархічних системах в умовах надзвичайних ситуацій : автореферат дисертації кандидата технічних наук : 05.13.06 / І. О. Малець ; Національний університет «Львівська політехніка». – Л., 2009. – 19 с.
2. Multi-criteria decision support and evaluation of strategies for nuclear remediation management / [Geldermann, Jutta, Bertsch, Valentin, Treitz, Martin, French, Simon, Papamichail, Konstantinia N. and Hämäläinen, Raimo P.] // Omega. – 2009. – Vol. 37, Issue 1. – P. 238–251.
3. Tavana M. Dynamic process modelling using Petri nets with applications to nuclear power plant emergency management / M. Tavana // Int. J. Simulation and Process Modelling. – 2008. – Vol. 2, Issue 4. – P. 130–138.
4. Van der Aalst, Wil. Modeling business processes: a Petri net-oriented approach / Van der Aalst, Wil and Stahl, Christian. – Cambridge : MIT press, 2011. – 400 p.
5. Peterson J. L. Petri Net Theory and the Modeling of Systems, PrenticeHall, 1981.
6. Стеценко І. В. Моделювання систем [Електронний ресурс] : [навчальний посібник] / І. В. Стеценко ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2010. – 399 с.
7. Кузьмук В. В. Класифікація мереж Петрі та приклади їх застосування для розв'язання прикладних задач / В. В. Кузьмук, А. М. Парнюк, О. А. Супруненко // Информационно-управляющие системы. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков : Технологический центр, 2011. – Випуск № 9 (50). – Том 2.
8. Jensen, Kurt Coloured Petri Nets (2 ed.). – Berlin : Heidelberg, 1996. – 234 p.
9. Котов В. Е. Сети Петри / В. Е. Котов. – М. : Наука, 1984. – 160 с.

© Кобилінський І. А., 2014

Дата надходження статті до редколегії 10.06.2014 р.

КОБИЛІНСЬКИЙ Ігор Андрійович – аспірант кафедри інформаційних технологій та програмних систем, Чорноморський державний університет імені Петра Могили.

Коло наукових інтересів: інтелектуальні інформаційні системи, системи прийняття рішень.