



Скіцько В. І.

кандидат економічних наук, доцент, докторант кафедри економіко-математичного моделювання, Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана, Київ, Україна
skitsko.kneu@gmail.com

УДК 004.942:519.179.2:658.8



Мельник Г. В.

кандидат економічних наук, асистент кафедри прикладної математики та інформаційних технологій, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Чернівці, Україна
firstmy555@gmail.com

Моделювання процесів електронної логістики Інтернет-магазину з використанням розфарбованих комбінованих (за часом) мереж Петрі

Анотація. Центральне місце у сфері електронної комерції займають Інтернет-магазини, для яких основним джерелом прибутку є їхні покупці. Отже, необхідно вміти грамотно побудувати роботу з ними. Одним із інструментів дослідження такої проблеми є моделювання взаємовідносин покупця й Інтернет-магазину в контексті електронної логістики. У статті розроблено концептуальний підхід щодо використання розфарбованих комбінованих (за часом) мереж Петрі в моделюванні процесів електронної логістики Інтернет-магазину (в частині взаємодії із покупцем) та побудовано відповідну імітаційну модель. Розглянуто приклад роботи побудованої мережі Петрі за реальних умов. Проведено симуляцію роботи всіх переходів розфарбованої мережі Петрі комбінованого (за часом) типу, а досяжні маркування представлені у вигляді дерева (графа). Проаналізовано отримані результати та окреслено подальші напрямки досліджень.

Ключові слова: Інтернет-магазин; розфарбовані комбіновані мережі Петрі; електронна логістика.

Volodymyr Skitsko

PhD (Economics), Associate Professor, D.Sc. Student, State Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman, Ukraine
54/1 Peremohy Ave, Kyiv, 03680, Ukraine

Halyna Melnyk

PhD (Economics), Assistant Professor, Chernivtsi National University named after Yuriy Fedkovych, Chernivtsi, Ukraine
28 Universytetska Str., Chernivtsi, 58012, Ukraine

Modelling of online store's e-logistics processes with coloured combined (timed) Petri nets

Abstract. Introduction. The main place in e-commerce is taken by online shops with the buyers as a source of profit. It is necessary to be able to construct the work with them correctly. One of the research tools for this is modelling of relationships between buyers and online shops in the context of e-logistics. The *purpose* of the article is to develop a conceptual approach to the usage of coloured timed Petri nets in e-logistics processes of online shops modelling (in terms of their interaction with the buyers) and build an appropriate simulation model. *Results.* Based on the assumptions about the behaviour of the buyers of online shops, we defined the rules that appear in the form of an appropriate coloured combined (timed) Petri nets. We identified values and initial marking of sets, as well as delays in transitions in Petri nets. Practical examples of the constructed coloured combined (timed) Petri nets application have been given. The problem of modelling can be reduced by the setting of achievable markings with the consideration of time delays in the transitions in coloured combined Petri nets. Active transitions and their usage rules were defined. A simulation of all transitions and achievable markings of coloured combined Petri nets are represented in the form of a tree (graph). *Conclusions.* The constructed operating model based on coloured combined (timed) Petri nets allows making changes in the conceptual functioning of e-logistics and logical schemes at both design and operational stages. Simulation of the buyers' behaviour partially allows predicting their demands and actions. Consequently, online stores operations are optimized in order to have additional time to search for various goods, pay for selected ones, make suggestions regarding unavailable goods, replace certain goods with similar products at a lower price. Simulation of the manager's behaviour helps to satisfy the buyer's demands more effectively. The results can be used as a basis for further theoretical and practical research in e-logistics, management of online shops, etc.

Keywords: Online Store; Coloured Combined (Timed) Petri Nets; E-Logistics

JEL Classification: D83; L20; M10

Скицько В. І.

кандидат економічних наук, доцент, докторант, кафедра економіко-математичного моделювання, Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана, Київ, Україна

Мельник Г. В.

кандидат економічних наук, асистент кафедри прикладної математики та інформаційних технологій, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Чернівці, Україна

Моделирование процессов электронной логистики интернет-магазина с использованием раскрашенных комбинированных (по времени) сетей Петри

Аннотация. Основное место в сфере электронной коммерции занимают Интернет-магазины, для которых основным источником дохода являются их покупатели. Следовательно, необходимо уметь грамотно построить работу с ними. Одним из инструментов исследования такой проблемы является моделирование взаимоотношений покупателя и Интернет-магазина в контексте электронной логистики. В статье разработан концептуальный подход использования раскрашенных комбинированных (по времени) сетей Петри в моделировании процессов электронной логистики Интернет-магазина (в части взаимодействия с покупателем) построено соответствующую имитационную модель. Рассмотрен пример работы сети Петри в реальных условиях. Проведено симуляцию работы всех переходов раскрашенной сети Петри комбинированного (по времени) типа, а достижимые маркировки представлены в виде дерева (графа). Проанализированы полученные результаты и намечены дальнейшие направления исследований.

Ключевые слова: Интернет-магазин; раскрашенные комбинированные сети Петри; электронная логистика.

1. Постановка проблеми. Сучасні умови ведення бізнесу змушують шукати нові форми господарювання, використовувати новітні підходи до управління з метою зменшення обсягів загальних витрат та збільшення обсягу прибутку. З огляду на це, а також завдяки інноваційним технологіям, стрімкий розвиток спостерігається у сфері електронної комерції, в якій одне із основних місць належить Інтернет-магазинам. Проте стрімкий розвиток українського ринку електронної комерції дещо пригальмував в 2014 році, зокрема, через значну девальвацію гривні, що зумовило ріст цін на продукцію та знизило купівельну спроможність споживачів. Для збереження кількості постійних покупців та привертання уваги нових клієнтів вітчизняні Інтернет-магазини в 2014 році проводили агресивні рекламні компанії, здійснювали автоматизацію обробки дзвінків через центри роботи з клієнтами, переходили на оплату банківськими картками (від готівкової до безготівкової форми оплати), збільшували асортимент продукції, а також повністю оновлювали власні сайти, програмне забезпечення тощо [1].

У цьому дослідженні ми зосередимося на проблемах взаємодії Інтернет-магазинів та покупців (в контексті електронної логістики) через значущість останніх, оскільки без покупців існування Інтернет-магазинів було б неможливим.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Різні теоретичні та практичні аспекти роботи Інтернет-магазинів та їхньої взаємодії з покупцями було досліджено в роботах науковців та практиків, таких як Аксенов Ю, Капінус Л. В., Ключа А., Малков С. В., Рамазанов С. К., Савенко І. В., Скригун Н. П., Судольский Р., Шоркін О., Ремі Г. (Remy G., 2012) [2], Ляо З. (Liao Z. Q., 2001) та Чеунг М. (Cheung M. T., 2001) [3]. Розгляду питань електронної логістики присвячені праці вітчизняних учених, а також учених ближнього зарубіжжя. До них належать: Гаджинський А. М., Іщенко В. А., Окландер М. А., Сергеев В. І., Букреев М., Гірна О. Б., Чухрай Н. І. Серед науковців дальнього зарубіжжя особливо цікавий доробок з електронної логістики мають Гунасекаран А. (Gunasekaran A., 2007), Нгаї Е. (Ngai W. T. Eric, 2007) та Ченг Е. (Cheng T. C. Edwin, 2007) [4], Лян-Цзе Чжан (Liang-Jie Zhang, 2002), Генрі Чанг (Henry Chang, 2002) [5; 6], Алдін Н. (Aldin, N., 2003) та Стагре Ф. (Stahre F., 2003) [7] та інші.

Ознайомлення з їхнім доробком підтверджує важливість та актуальність даної проблематики. Проте існує низка аспектів, які потребують подальших досліджень, зокрема, використання сучасного інструментарію економіко-математичного моделювання в управлінні роботою Інтернет-магазину.

3. Метою статті є розробка підходу щодо використання розфарбованих комбінованих (за часом) мереж Петрі в моделюванні процесів електронної логістики Інтернет-магазину (в частині взаємодії із покупцем) та побудова відповідної імітаційної моделі.

4. Основні результати дослідження. Одне із основних місць у роботі Інтернет-магазину займає електронна логістика, яка є підсистемою менеджменту стосовно прогнозування, планування, координації та контролю електронних інформаційних потоків за допомогою інформаційно-комунікаційних технологій із застосуванням математичних методів та моделей [8]. Електронна логістика є складною системою, для дослідження роботи якої доцільно використовувати інструментарій теорії графів, зокрема, через можливість моделювати не тільки статичні системи, але й динамічні процеси.

Одним з перспективних розділів теорії графів є мережі Петрі, яким притаманна низка властивостей, що робить їх придатними для моделювання бізнес-процесів підприємств. Окрім класичних мереж Петрі, розроблено різні модифікації мереж [9; 10]: мережі Петрі з інгібіторними зв'язками, нечіткі, часові, розфарбовані тощо. Для моделювання процесів електронної логістики пропонується використати розфарбовану мережу Петрі (англ. Coloured Petri Net – CPN або CP-net) комбінованого типу, де

для деяких переходів визначено часові затримки. Курт Йенсен визначає CP-net не тільки як засіб моделювання, але й як повноцінну мову проектування, специфікації, симуляції, перевірки та впровадження програмних систем, де взаємодія людей та/чи комп'ютерів може бути описана на рівні формальних правил [11]. Середовище для побудови, симуляції та перевірки моделі розфарбованих мереж Петрі надає вільний у розповсюдженні пакет CPN Tools [12].

У загальному вигляді розфарбована комбінована (щодо часових затримок у переходах) мережа Петрі може бути представлена наступним чином [13]:

$$CPN_T = (\Sigma, P, T, A, N, C, G, E, IN), \quad (1)$$

де Σ – скінченна непорожня множина типів, які називаються кольоровими мітками;

P – скінченна множина позицій;

T – скінченна множина переходів, T_{ms} – підмножина переходів без часової затримки, T_{ms} – підмножина переходів, для яких визначено часові затримки маркерів;

A – скінченна множина дуг;

N – функція на вузлах (позиціях та переходах), що визначена з A ;

C – функція на кольорах, що визначена з P на Σ ;

G – функція обмежень (спускова функція), що визначена з T ;

E – функція висловів на дугах, що визначена з A ;

$p(a)$ – позиція з $N(a)$;

IN – функція ініціалізації, що визначена з P .

Стани CP-net представляються за допомогою позицій (еліпси або кола). З кожної позицією пов'язаний колір, який визначає тип даних, що може містити ця позиція [8]. Стан CP-net визначається маркуванням (набором маркерів, які розташовані за окремими позиціями). Кожен маркер має колір (значення), який належить до типу позиції, на якій маркер перебуває. Маркери, які присутні на певній позиції називаються маркуванням цієї позиції. Початкове маркування CP-net описує початковий стан системи. Дії CP-net представляються за допомогою переходів (прямокутники), всередині яких записуються їхні імена. Позицію та перехід з'єднує дуга (дуги). Перехід є дозволе-ним, якщо логічний вираз в умові, що з ним зіставляється, повертає значення «істина» («true»). Для врахування динаміки процесів електронної логістики були використані часові затримки в переходах (@++<number>, де number – ціле додатне число, що визначає модельний час).

Зробимо наступні припущення: покупець залишає сторінку Інтернет-магазину у разі, коли він відкрив її випадково або не знайшов необхідного товару, або знайшов його, але він за певними характеристиками не задовольняє вимоги покупця; покупець може відкласти придбання товару на деякий час у разі відсутності товару в магазині або нестачі потрібної йому кількості товару, але за умови, якщо його можна довести в узгоджений термін, або ж покупець відкладає оплату за товар та резервує його під своє замовлення; покупець здійснює покупку товару. Згідно зазначених припущень для CP-net комбінованого (за часом) типу можуть бути встановлені наступні правила, які можуть бути відображені у вигляді розфарбованої CP-net комбінованого типу (рис. 1):

П.1. ЯКЩО «Сторінка Інтернет-магазину була відкрита помилково» ТОДІ «Вихід без покупки».

П.2. ЯКЩО «Сторінка Інтернет-магазину була відкрита свідомо» ТОДІ «Перегляд Web-вітрини».

П.3. ЯКЩО «Перегляд Web-вітрини» ТОДІ АБО «На Web-вітрині потрібний товар відсутній» АБО «На Web-вітрині товар знайдено».

П.4. ЯКЩО «На Web-вітрині потрібний товар відсутній» ТОДІ «Вихід без покупки».

П.5. ЯКЩО «На Web-вітрині товар знайдено» ТОДІ АБО «Вихід без покупки» АБО І [АБО «Ресстрація відбулася» АБО «Автентифікація відбулася»] І «Додати товар в кошик».

П.6. ЯКЩО «Додати товар в кошик» І «Внесення додаткових параметрів товару» ТОДІ «Оформлення замовлення».

П.7. ЯКЩО «Оформлення замовлення» ТОДІ АБО «Товар на складі є» АБО «Товар на складі відсутній» АБО «Перегляд Web-вітрини».

П.8. ЯКЩО «Товар на складі є» ТОДІ «Виписати рахунок».

П.9. ЯКЩО «Товар на складі відсутній» ТОДІ АБО «Перегляд Web-вітрини» АБО «Вихід без покупки» АБО «Резервування товару».

П.10. ЯКЩО «Виписати рахунок» ТОДІ АБО «Резервування товару» АБО «Оплата товару» АБО «Доставка з післяплатою».

П.11. ЯКЩО АБО «Оплата товару» АБО «Доставка з післяплатою» ТОДІ «Покупка товару здійснена».

Значення та початкове маркування позицій:

p1 «Відкриття сторінки Інтернет-магазину» – $m^1_s \{<no> \text{ or } <yes>\}$ (умовне позначення на рис. 1 «1'no++1'yes»);

p2 «Перегляд Web-вітрини»;

p3 «Вихід без покупки»;

p4 «Реєстрація відбулася» $m^4_s - \{<yes>\}$ («1'yes»);

p5 «Автентифікація відбулася» $m^5_s - \{<yes>\}$ («1'yes»);

p6 «Додати товар в кошик»;

p7 «Внесення додаткових параметрів» $m^7_s - \{<5>\}$ («1'5»);

p8 «Оформлення замовлення»;

p9 «Перевірка наявності товару» $m^9_s - \{<6> \text{ or } <7> \text{ or } <8>\}$ («1'6++1'7++1'8»);

p10 «Товар на складі відсутній» $m^{10}_s - \{<9> \text{ or } <10> \text{ or } <11>\}$ («1'9++1'10++1'11»);

p11 «Резервування товару»;

p12 «Виписати рахунок» – $m^{12}_s \{<12> \text{ or } <13> \text{ or } <14>\}$ («1'12++1'13++1'14»);

p13 «Оплата товару»;

p14 «Доставка з післяплатою»;

p15 «Покупка товару здійснена».

В спроектованій CP-net використовувалися кольори маркерів з позначенням <0>, <1>, ..., <14>.

Значення та часові затримки переходів CP-net:
t1 «Помилкове відкриття сторінки Інтернет-магазину»;

t2 «Сторінка відкрита правильно»;

t3 «Потрібний товар не знайдено»;

t4 «Замовлення додаткових позицій товару» (моделний час @+300);

t5 «Перехід до особистого «кошика» покупця»;

t6 «Пошук заміни відсутньому товару» (@+600);

t7 «Вихід без реєстрації»;

t8 «Реєстрація покупця» (@+100);

t9 «Відмова від замовлення» (@+500);

t10 «Підтвердження замовлення з урахуванням параметрів» (@+200);

t11 «Повідомлення про відсутність товару на складі» (@+400);

t12 «Резервування товару» (@+500);

t13 «Оформлення рахунку» (@+400);

t14 «Відкладення оплати» (@+600);

t15 «Запит на післяплату» (@+600);

t16 «Оформлення угоди про післяплату» (@+600);

t17 «Запит на передплату» (@+700);

t18 «Оформлення згоди на передплату» (@+700).

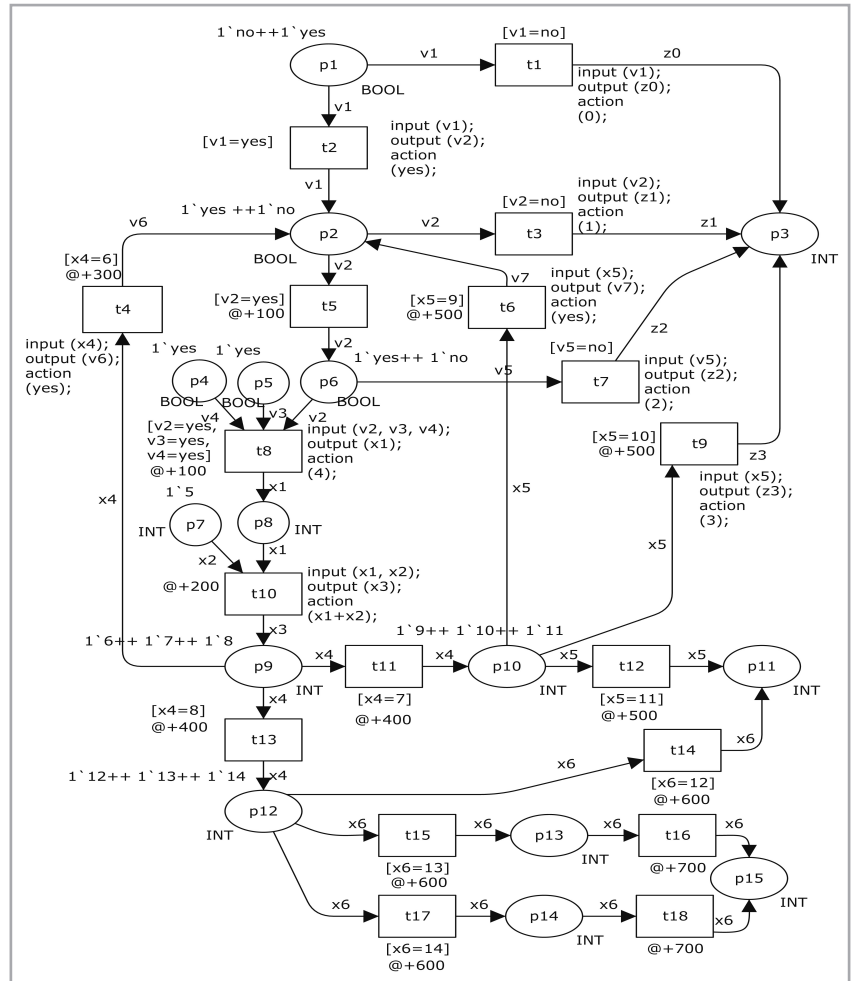


Рис. 1. CP-net комбінованого (за часом) типу для моделювання процесів електронної логістики (у частині взаємодії із покупцем).
Джерело: Авторська розробка

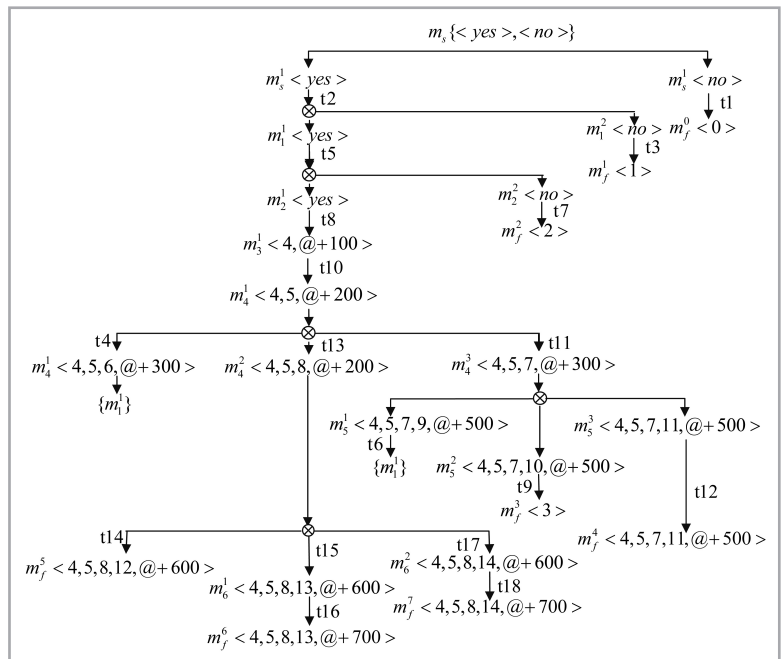


Рис. 2. Дерево (граф) досяжності маркування CP-net комбінованого (за часом) типу для моделювання процесів електронної логістики.
Джерело: Авторська розробка

Задача моделювання зводиться до розгляду можливого досяжного маркування CP-net. Для її розв'язання послідовно визначаються активні переходи та використовуються правила їх спрацювання. Дерево досяжного маркування представлено на рис. 2.

Побудована модель була відлагоджена та протестована в покровоному режимі симулятора пакету CPN Tools. В результаті виконання зазначених кроків можливі наступні кінцеві маркування CP-net:

«Вихід без покупки»:

m_f^0 – помилково відкрита сторінка Інтернет-магазину;

$m_f^1 <1>$ – потрібний товар не знайдено;

$m_f^2 <2>$ – товар знайдено, але з суб'єктивних причин

покупець відмовився оформити замовлення;

$m_f^3 <3>$ – покупець відмовився від покупки вже після оформлення замовлення;

«Покупка товару здійснена»:

$m_f^6 <4,5,8,13,@+700>$ – з післяплатою;

$m_f^7 <4,5,8,14,@+700>$ – на умовах передплати.

Модель, що побудована з використанням розфарбованої комбінованої (за часом) мережі Петрі дає можливість внести зміни в концептуально-логічну схему функціонування електронної логістики Інтернет-магазину (у частині взаємодії із покупцем) як на етапі проектування, так і на етапі функціонування. Імітація поведінки покупця дозволяє частково передбачити його дії чи запити і, тим самим, оптимізувати роботу Інтернет-магазину з метою надання йому (покупцю) додаткового часу на пошук товару чи оплати за товар, пропозицій щодо заміни відсутнього товару, аналогів товару нижчої ціни чи іншої торгової марки тощо. Моделювання дій менеджера дозволяє підвищити ефективність відділу збуту Інтернет-магазину щодо реакції на запити користувача, вивчення попиту на певні найменування товару тощо.

5. Висновки. Запропонована модель процесів електронної логістики Інтернет-магазину (у частині взаємодії із покупцем) на основі розфарбованої комбінованої (за часом) мережі Петрі є простою та гнучкою для проектування чи аналізу системи електронної логістики Інтернет-магазину; вона дозволяє вносити зміни щодо розміщення об'єктів (елементів) системи, визначати напрямки інформаційних чи матеріальних потоків та за необхідності змінювати їх, відслідковувати часову динаміку перебігу процесів в системі електронної логістики Інтернет-магазину, визначати стан системи електронної логістики Інтернет-магазину на проміжних етапах функціонування.

Отримані у даній роботі результати можуть бути використанні при проектуванні системи бізнес-процесів Інтернет-магазину, а також бути підґрунтям для подальших наукових досліджень щодо використання інших типів мереж Петрі для вирішення запропонованих проблем або використання розфарбованої комбінованої (за часом) мережі Петрі у моделюванні інших економічних задач.

Література

1. Карпенко О. Уроки кризиса: как выживает украинский e-commerce [Електронний ресурс] / О. Карпенко. – Режим доступу : <http://ain.ua/2014/12/25/555088>
2. Remy G. Five Signs of an Advanced E-Commerce Site [Electronic resource] / G. Remy. // UX Magazine. – Article No. 920. – December 13, 2012. – Access mode : <http://uxmag.com/articles/five-signs-of-an-advanced-e-commerce-site>
3. Liao Z. Q. Internet-based e-shopping and consumer attitudes: an empirical study [Electronic resource] / Z. Q. Liao, M. T. Cheung // Information and Management. – Vol. 38, No. 5. – P. 299–306. – Access mode : <http://www.ugr.es/~focana/dclasi/artiRegre.pdf>

4. Gunasekaran A. Developing an E-logistics System: A case study [Electronic resource] / A. Gunasekaran, E. W. T. Ngai, T. C. E. Cheng // International Journal of Logistics: Research & Applications. – 2007. – Vol. 10, No. 4. – P. 333–349. – Access mode : <http://repository.lib.polyu.edu.hk/jspui/handle/10397/1150>
5. Zhang L.-J. (2002). E-Logistics Processes Integration Using Web Services / L.-J. Zhang, H. Chang, H. Chang // Web Services Business Strategies and Architectures. – Apress, 2002. – P. 100–115.
6. Zhang L.-J. ELPIF: An E-Logistics Processes Integration Framework Based on Web Services [Electronic resource] / L.-J. Zhang, P. Yadav, H. Chang, R. Akkiraju, T. Chao, D. Flaxer, J.-J. Jeng. – 2002. – Access mode : <http://researcher.watson.ibm.com/researcher/files/us-bth/zhang.pdf>
7. Aldin, N. Electronic commerce, marketing channels and logistics platforms – a wholesaler perspective [Electronic resource] / N. Aldin, F. Stahre // European Journal of Operational Research. – 2003. – Vol. 144. – P. 270–279. – Access mode : http://elogsistics.lhu.edu.tw/may/course/94_1/EC/...b/e93425238/...pdf
8. Скіцько В. І. Електронна логістика як складова сучасного бізнесу / В. І. Скіцько // Бізнес Інформ. – 2014. – № 7. – С. 309–314.
9. Кульба В. В. Модифицированные функциональные графы как аппарат моделирования сложных динамических систем / В. В. Кульба, В. М. Назаретов, И. П. Чухнов. – М. : ИПУ, 1995. – 43 с.
10. Непомнящий В. А. Верификация Estelle спецификаций распределенных систем посредством раскрашенных сетей Петри. // В. А. Непомнящий, Н. В. Шилова. – Новосибирск, 1997. – 140 с.
11. Jensen K. Coloured Petri Nets / K. Jensen, W. Brauer, W. Reisig, G. Rozenberg // Petri Nets: Central Models and Their Properties, Advances in Petri Nets. Part I. Lecture Notes in Computer Science. – Springer Verlag, 1987. – Vol. 254. – P. 248–299.
12. CPN Tools Homepage. [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.daimi.au.dk/>
13. Bozek A. Coloured timed Petri Nets as tool of off-line simulating for intelligent manufacturing systems / A. Bozek, T. Zabinski // Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review). – 2010. Vol. 2010. – No. 9. – P. 101–105.

Стаття надійшла до редакції 6.04.2015

References

1. Karpenko, A. (2014). *Lessons from the crisis: how to survive Ukrainian e-commerce*. Retrieved from <http://ain.ua/2014/12/25/555088> (in Russ.)
2. Remy, G. (2012). Five Signs of an Advanced E-Commerce Site. *UX Magazine. Article No. 920*. Retrieved from <http://uxmag.com/articles/five-signs-of-an-advanced-e-commerce-site>
3. Liao, Z. Q., & Cheung, M. T. (2001). Internet-based e-shopping and consumer attitudes: an empirical study. *Information and Management*, 38(5), 299–306. Retrieved from <http://www.ugr.es/~focana/dclasi/artiRegre.pdf>
4. Gunasekaran, A., Ngai, E. W. T., & Cheng, T. C. E. (2007). Developing an E-logistics System: A case study. *International Journal of Logistics: Research & Applications*, 10(4), 333–349. Retrieved at <http://repository.lib.polyu.edu.hk/jspui/handle/10397/1150>
5. Zhang, L.-J., & Chang, H. (2002). E-Logistics Processes Integration Using Web Services. *Web Services Business Strategies and Architectures*, Apress, 100–115.
6. Zhang, L.-J., Yadav, P., Chang, H., Akkiraju, R., Chao, T., Flaxer, D., & Jeng, J.-J. (2002). ELPIF: An E-Logistics Processes Integration Framework Based on Web Services. Retrieved from <http://researcher.watson.ibm.com/researcher/files/us-bth/zhang.pdf>
7. Aldin, N. and Stahre, F., (2003). Electronic commerce, marketing channels and logistics platforms – a wholesaler perspective. *European Journal of Operational Research*, 144, 270–279. Retrieved from http://elogsistics.lhu.edu.tw/may/course/94_1/EC/...b/e93425238/...pdf
8. Skitsko, V. I. (2014). Electronic Logistics as a Component of Modern Business. *Biznes Inform (Business Inform)*, 7, 309–314 (in Ukr.).
9. Kulba, V. V., Nazaretov, V. M., & Chukhnov I. P. (1995). *Modified functional graphs as a tool of modeling complex dynamic systems*. Moscow : IPU (in Russ.).
10. Nepomniashchii, V. A., & Shilov, N. V., (1997). *Verification Estelle – specifications of distributed systems by means of coloured Petri nets*. Novosibirsk (in Russ.).
11. Jensen, K., Brauer, W., Reisig, W., & Rozenberg G. (1987). Coloured Petri Nets. *Petri Nets: Central Models and Their Properties, Advances in Petri Nets. Part I. Lecture Notes in Computer Science*. Springer Verlag, Vol. 254. 248–299.
12. CPN Tools Homepage. Retrieved from <http://www.daimi.au.dk/>
13. Bozek, A., & Zabinski, T. (2010). Coloured timed Petri Nets as tool of off-line simulating for intelligent manufacturing systems. *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, 9(2010), 101–105.

Received 6.04.2015

Науковий журнал
«Економічний часопис-XXI»
читайте на веб-порталі
www.soskin.info/ea/