

В. Висоцька

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра інформаційних системи та мереж

## МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОННОЇ КОНТЕНТ-КОМЕРЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕРЕЖ ПЕТРІ

© Висоцька В., 2009

Проаналізовано основні моделі систем електронної комерції. Запропонована узагальнена модель таких систем. Інтернет-система електронної комерції – цілеспрямована множина об'єктів довільної природи з набором зв'язків між ними та між їхніми властивостями. Інакше кажучи, Інтернет-система електронної комерції складається зі взаємопов'язаних частин. Запропоновано методи вирішення цих проблем.

Some problems of electronic commerce are analyzed in proposed paper. Generalized model of such kind systems are proposed. The Internet-system of electronic commerce – purposeful set of objects of the any nature with a set of connections between them and between their properties. In other words, the Internet-system of electronic commerce – everything, that consists of the interconnected parts. New methods for solution of discussed problems are proposed.

### Вступ. Загальна постановка проблеми

Під час формалізації і розв'язання реальних задач проектування та моделювання систем електронної контент-комерції важливе значення мають якісні характеристики використовуваного контенту. Обґрунтованість, достовірність та ефективність розв'язання прикладних системних задач безпосередньо залежать не тільки від кількісних, але й від якісних характеристик контенту (інформації як товару). Звідси випливають принципово нові вимоги до оцінювання вихідної інформації і до процедури інформаційного аналізу.

### Зв'язок висвітленої проблеми із важливими науковими та практичними завданнями

Контент – елемент системи електронної контент-комерції, який є неподільний в часі, є основним чинником функціонування системи електронної контент-комерції та існує лише в електронному вигляді. Контент – це упорядкована послідовність змістовно взаємно узгоджених і структурно взаємопов'язаних слів, малюнків, діаграм, таблиць і/або інших засобів письмового, усного, наочного, технічного відображення станів, дій, розміщень та інших властивостей і/або процесів досліджуваного об'єкта будь-якої природи. Множина контенту формує область діяльності, функціонування та призначення системи електронної контент-комерції. Фахівці із проектування й експлуатації складних систем електронної контент-комерції мають справу із підсистемами керування різних рівнів, що володіють загальною властивістю — прагненням досягти деякої мети (продаж контенту кінцевому користувачу). Цю особливість урахуємо в наступних визначеннях системи електронної контент-комерції. Система електронної контент-комерції  $S$  – цілеспрямована множина взаємозалежних елементів будь-якої природи, серед яких обов'язкова присутність множини контенту визначеної характеристики (статті, програмне забезпечення тощо). Зовнішнє середовище  $E$  – множина існуючих поза системою електронної контент-комерції елементів будь-якої природи, що впливають на систему або перебувають під її впливом.

Сформулюємо основні цілі й задачі інформаційного аналізу як одного з важливих інструментів формалізації та розв'язання системних задач моделювання систем електронної

контент-комерції. Цілі зводяться до забезпечення необхідного і технологічно можливого рівня інформаційного забезпечення достовірності та обґрунтованості розв'язання прикладних системних задач. Задачі інформаційного аналізу полягають у створенні метрологічного і математичного інструментарію для досягнення поставлених цілей. Досягнення поставлених цілей і розв'язання задач багато в чому залежить від взаємозв'язків і взаємозалежностей різних факторів та умов, фізичних припущень і технологічних обмежень, накладених на функціонування досліджуваного об'єкта. Ці особливості ускладнюють реальні системні задачі, перетворюючи кожен з них на унікальну. До таких задач насамперед належать задачі технологічного передбачення, інноваційної діяльності, оцінювання ризиків і управління безпекою складних технологічних систем електронної контент-комерції.

### Аналіз сучасних досліджень і публікацій

Найбільші ускладнення й найсерйозніші помилки при моделюванні виникають при переході від змістовного до формального опису об'єктів дослідження, що пояснюється участю в цьому творчому процесі колективів різних спеціальностей: фахівців в області систем електронної контент-комерції, які потрібно моделювати (замовників), і фахівців в області програмного моделювання (виконавців). Ефективним засобом для знаходження взаєморозуміння між цими групами фахівців є мова математичних схем, що дає змогу порушити питання про адекватність переходу від змістовного опису системи до її математичної схеми, а лише потім вирішувати питання про конкретний метод одержання результатів з використанням комп'ютера: аналітичний або імітаційний, а можливо, і комбінований, тобто аналітико-імітаційний. Стосовно до конкретного об'єкта моделювання, тобто до складної системи електронної контент-комерції, розроблювачеві моделі повинні допомогти конкретні, які вже пройшли апробацію для даного класу систем математичні схеми, що показали свою ефективність у прикладних дослідженнях на комп'ютерах і які отримали назву типових математичних схем. Вихідною інформацією при побудові математичних моделей процесів функціонування систем електронної контент-комерції є дані про призначення й умови роботи досліджуваної (проектованої) системи  $S$ . Ця інформація визначає основну мету моделювання системи  $S$  і дає змогу сформулювати вимоги до розроблюваної математичної моделі  $M$ . Причому рівень абстрагування залежить від кола тих питань, на які дослідник системи електронної контент-комерції хоче одержати відповідь за допомогою моделі, а також в якому ступені визначає вибір математичної схеми [1–3].

Введення поняття «математична схема» дає змогу розглядати математику не як метод розрахунку, а як метод мислення, як засіб формулювання понять, що є найважливішим при переході від словесного опису системи до формального подання процесу її функціонування у вигляді деякої математичної моделі (аналітичної або імітаційної). При користуванні математичною схемою дослідника системи  $S$  насамперед має цікавити питання про адекватність відображення у вигляді конкретних схем реальних процесів у досліджуваній системі, а не можливість одержання відповіді (результату рішення) на конкретне питання дослідження. Наприклад, подання процесу функціонування інформаційно-обчислювальної системи колективного користування Інтернет-газети у вигляді мережі схем масового обслуговування дає можливість добре описати процеси, що відбуваються в системі, але при складних законах розподілу вхідних потоків і потоків обслуговування не дає можливості одержання результатів у явному вигляді [8].

*Математичну схему можна визначити як ланку при переході від змістовного до формального опису процесу функціонування системи з урахуванням впливу зовнішнього середовища, тобто має місце ланцюжок «описова модель — математична схема — математична [аналітична або (і) імітаційна] модель».*

Кожна конкретна система електронної контент-комерції  $S$  характеризується набором властивостей, під якими розуміються величини, що відбивають поведінку модельованого об'єкта (реальної системи) і враховуючі умови її функціонування у взаємодії із зовнішнім середовищем (системою)  $E$ . При побудові математичної моделі системи електронної контент-комерції необхідно

вирішити питання про її повноту. Повнота моделі регулюється в основному вибором границі «система  $S$  — середовище  $E$ ». Також необхідно вирішити завдання спрощення моделі, що допомагає виділити основні властивості системи електронної контент-комерції, відкинувши другорядні. Причому віднесення властивостей системи електронної контент-комерції до основних або другорядних істотно залежить від мети моделювання системи (наприклад, аналіз ймовірноснотимчасових характеристик процесу функціонування системи, синтез структури системи тощо).

Модель об'єкта моделювання, тобто системи електронної контент-комерції  $S$ , можна представити у вигляді множини величин, що описують процес функціонування реальної системи та утворюють у загальному випадку такі підмножини: сукупність *вхідних впливів на систему*  $x_i \in X$ ,  $i = \overline{1, n_x}$ ; сукупність *впливів зовнішнього середовища*  $v_l \in V$ ,  $l = \overline{1, n_v}$ ; сукупність *внутрішніх (власних) параметрів системи*  $h_k \in H$ ,  $k = \overline{1, n_h}$ ; сукупність *вихідних характеристик системи*  $y_j \in Y$ ,  $j = \overline{1, n_y}$ . При цьому в перерахованих підмножинах можна виділити керовані й некеровані змінні. У загальному випадку  $x_i$ ,  $v_l$ ,  $h_k$ ,  $y_j$  є елементами непересічних підмножин і містять як детерміновані, так і стохастичні складові.

При моделюванні системи  $S$  вхідні впливи, впливи зовнішнього середовища  $E$  та внутрішні параметри системи є *незалежними (екзогенними) змінними*, які у векторній формі мають відповідно вигляд  $\vec{x}(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_{n_x}(t))$ ;  $\vec{v}(t) = (v_1(t), v_2(t), \dots, v_{n_v}(t))$ ;  $\vec{h}(t) = (h_1(t), h_2(t), \dots, h_{n_h}(t))$ , а вихідні характеристики системи є *залежними (ендогенними) змінними* й у векторній формі мають вигляд  $\vec{y}(t) = (y_1(t), y_2(t), \dots, y_{n_y}(t))$ .

Процес функціонування системи  $S$  описується в часі оператором  $F_S$ , що у загальному випадку перетворює екзогенні змінні на ендогенні відповідно до співвідношень вигляду:

$$\vec{y}(t) = F_S(\vec{x}, \vec{v}, \vec{h}, t). \quad (1)$$

Сукупність залежностей вихідних характеристик системи від часу  $y_j(t)$  для всіх видів  $j = \overline{1, n_y}$  називається *вихідною траєкторією*  $\vec{y}(t)$ . Залежність (1) називається *законом функціонування системи електронної контент-комерції  $S$*  і позначається  $F_S$ . У загальному випадку закон функціонування системи  $F_S$  може бути заданий у вигляді функції, функціонала, логічних умов, в алгоритмічній і табличній формах або у вигляді словесного правила відповідності.

Доволі важливим для опису й дослідження системи електронної контент-комерції  $S$  є поняття *алгоритму функціонування*  $A_S$ , під яким розуміють метод одержання вихідних характеристик з урахуванням вхідних впливів  $\vec{x}(t)$ , впливів зовнішнього середовища  $\vec{v}(t)$  і власних параметрів системи  $\vec{h}(t)$ . Очевидно, що той самий закон функціонування  $F_S$  системи  $S$  може бути реалізований різними способами, тобто за допомогою множини різних алгоритмів функціонування  $A_S$ . Співвідношення (1) є математичним описом поведження об'єкта (системи) моделювання в часі  $t$ , тобто відбивають його динамічні властивості. Тому математичні моделі такого виду прийнято називати *динамічними моделями (системами) систем електронної контент-комерції* [15]. Для статичних моделей математична модель (1) являє собою відображення між двома підмножинами властивостей моделюємого об'єкта  $Y$  і  $\{X, V, H\}$ , що у векторній формі може бути записане як

$$\vec{y} = f(\vec{x}, \vec{v}, \vec{h}) \quad (2)$$

Співвідношення (1) і (2) можуть бути задані різними способами: аналітично (за допомогою формул), графічно, таблично й т.д. Такі співвідношення в ряді випадків можуть бути отримані через властивості системи  $S$  у конкретні моменти часу, називані *станами*. Стан системи  $S$  характеризується векторами:

$$\vec{z}' = (z'_1, z'_2, \dots, z'_k) \text{ та } z'' = (\vec{z}''_1, \vec{z}''_2, \dots, z''_k),$$

де  $z'_1 = z_1(t'), z'_2 = z_2(t'), \dots, z'_k = z_k(t')$  у момент часу  $t' \in (t_0, T)$ ;  $z''_1 = z_1(t''), z''_2 = z_2(t''), \dots, z''_k = z_k(t'')$  у момент  $t'' \in (t_0, T)$  і т.д.,  $k = \overline{1, n_Z}$ .

Якщо розглядати процес функціонування системи  $S$  як послідовну зміну станів  $z_1(t), z_2(t), \dots, z_k(t)$ , то вони можуть бути інтерпретовані як координати крапки в  $k$ -мірному фазовому просторі, причому кожній реалізації процесу буде відповідати деяка фазова траєкторія. Сукупність всіх можливих значень станів  $\{\vec{z}\}$  називається *простором станів* об'єкта моделювання  $Z$ , причому  $z_k \in Z$ . Стани системи  $S$  у момент часу  $t_0 < t^* \leq T$  повністю визначаються початковими умовами  $\vec{z}^0 = (z_1^0, z_2^0, \dots, z_k^0)$  [де  $z_1^0 = z_1(t_0), z_2^0 = z_2(t_0), \dots, z_k^0 = z_k(t_0)$ ], вхідними впливами  $\vec{x}(t)$ , внутрішніми параметрами  $\vec{h}(t)$  і впливами зовнішнього середовища  $\vec{v}(t)$ , які мали місце за проміжок часу  $t^* - t_0$ , за допомогою двох векторних рівнянь:

$$z(t) = \Phi(\vec{z}^0, \vec{x}, \vec{v}, \vec{h}, t); \quad (3)$$

$$\vec{y}(t) = F(\vec{z}, t). \quad (4)$$

Перше рівняння за початковим станом  $\vec{z}^0$  і екзогенними змінними  $\vec{x}, \vec{v}, \vec{h}$  визначає вектор-функцію  $\vec{z}(t)$ , а друге за отриманим значенням станів  $\vec{z}(t)$  — ендегенні змінні на виході системи  $\vec{y}(t)$ . Отже, ланцюжок рівнянь об'єкта «вхід – стани – вихід» дає змогу визначити характеристики системи електронної контент-комерції:

$$\vec{y}(t) = F\left[\Phi(\vec{z}^0, \vec{x}, \vec{v}, \vec{h}, t)\right]. \quad (5)$$

У загальному випадку час у моделі системи  $S$  може розглядатися на інтервалі моделювання  $(0, T)$  як безперервне, так і дискретне, тобто квантоване на відрізки завдовжки  $\Delta t$  тимчасових одиниць кожний, коли  $T = m\Delta t$ , де  $m = \overline{1, m_T}$  — кількість інтервалів дискретизації. Тобто, під *математичною моделлю об'єкта* (реальної системи) розуміють кінцеву підмножину змінних  $\{\vec{x}(t), \vec{v}(t), \vec{h}(t)\}$  разом з математичними зв'язками між ними й характеристиками  $\vec{y}(t)$  [3].

Якщо математичний опис об'єкта моделювання не містить елементів випадковості або вони не враховуються, тобто якщо можна вважати, що в цьому випадку стохастичні впливи зовнішнього середовища  $\vec{v}(t)$  і стохастичні внутрішні параметри  $\vec{h}(t)$  відсутні, то модель називається *детермінованою* в тому розумінні, що характеристики однозначно визначаються детермінованими вхідними впливами

$$\vec{y}(t) = f(\vec{x}, t). \quad (6)$$

Детермінована модель є частковим випадком стохастичної моделі.

Наведені математичні співвідношення являють собою математичні схеми загального вигляду й дають змогу описати широкий клас систем. Однак у практиці моделювання об'єктів у галузі системотехніки й системного аналізу на первісних етапах дослідження системи електронної контент-комерції раціональніше використовувати *типові математичні схеми*: диференціальні

рівняння, кінцеві й імовірнісні автомати, системи масового обслуговування, мережі Петрі й т.д. Не маючи такого ступеня спільності, як розглянуті моделі, типові математичні схеми мають переваги простоти й наочності, але при істотному звуженні можливостей застосування. Як детерміновані моделі, коли при дослідженні випадкові фактори не враховуються, для подання систем, що функціонують у безперервному часі, використовуються диференціальні, інтегральні, інтегродиференціальні й інші рівняння, а для подання систем, що функціонують у дискретному часі, – кінцеві автомати й кінцево-різницеві схеми. Як стохастичні моделі (при обліку випадкових акторів) для подання систем з дискретним часом використовуються імовірнісні автомати, а для подання системи з безперервним часом – системи масового обслуговування тощо.

### **Виділення проблем**

Компанії доволі часто обмінюються комерційною інформацією та проводять розрахунки між собою і клієнтами в електронній формі. Традиційно для цього використовуються системи на основі EDI (Electronic Data Interchange) та EFT (Electronic Financial Transfer) – стандартів, що накладають жорсткі умови на форми передаваної інформації. Застосовуються такі системи переважно великими компаніями, корпораціями, що мають приватні VAN-мережі [1-3]. Сьогодні як фірми, так і приватні особи мають можливість здійснювати ділові операції через Internet без використання EDI. Комерційну інформацію, що пересилається через Internet, можна розділити на дві категорії: інформаційні транзакції; фінансові транзакції.

Забезпечення інформацією – основний і дорогий елемент електронної комерції. Інформація в комерції може мати кілька форм: статистичні дані (цифри, графіки, аналізи); корпоративна інформація (телефонні номери, адреси, структура організації); інформація про продукцію або послуги; платна інформація (новини, періодичні видання, доступ до баз даних тощо). Існує три основні класи фінансових транзакцій: компанія–компанія (платежі між банками, іншими фінансовими установами, перерахування коштів з рахунку однієї фірми на рахунок іншої здійснюються зазвичай електронним переказом, або за допомогою чеків); компанія–клієнт (основний спосіб платежу – готівка, чеки, дебетові та кредитові картки); клієнт–клієнт (основний спосіб платежу – готівка та чеки). Використання Internet для виконання цих типів транзакцій дає змогу замінити представлення або показ готівки, чеків, кредитних карток їх електронними еквівалентами. Сьогодні існують спеціально розроблені електронні версії платіжних систем, за допомогою яких можна здійснити: замовлення та оплату покупки; банківські розрахунки; інвестиції (в цінні папери) тощо. Електронна платіжна система – це авторизована інформаційна система, призначена для проведення розрахунків в Internet між фінансовими, комерційними, виробничими, урядовими організаціями, а також окремими користувачами. Серед основних вимог до платіжних систем можна назвати [1]: дотримання конфіденційності; збереження цілісності інформації; надання засобів оплати; забезпечення аутентифікації; проведення авторизації; мінімізація плати за транзакцію. Платіжні системи можна класифікувати за:

1. Типом платежу як системи на основі: кредитних карток; Internet-банкінгу; електронних чеків; smart-карт; системи з використанням електронних грошей;
2. Схемою здійснення платежів: кредитні; дебетові;
3. Розповсюдженістю: міжнародні; національні.

Кожне віртуальне підприємство  $p_i$  самостійно обирає вид платіжної системи  $t_i$ , яка для нього є кращим варіантом проведення фінансових операцій.

*Однак, не існує єдиної системи  $S$  проведення фінансових операцій між віртуальними підприємствами з різними платіжними системами у віртуальному світі електронного бізнесу, та не існує єдиної стандартної системи  $S$  контролю проведення фінансових транзакцій між учасниками віртуального світу електронного бізнесу.*

### **Формування цілей (постановка задачі)**

Систему фінансових взаємовідносин за допомогою платіжних систем (процесів) між віртуальними підприємствами (учасниками) у Internet-світі електронної комерції можна

представити за допомогою мереж Петрі. Така система  $C$  складатиметься з чотирьох елементів [1–3]: скінченної множини учасників  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  системи електронного ринку; множини процесів взаємовідносин  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ ; *вхідної* функції  $I: T \rightarrow P$ , тобто напрямних зв'язків між процесами та учасниками; *вихідної* функції  $O: T \rightarrow P$  (напрямні зв'язки між учасниками та процесами). Система проведення та контролю фінансових операцій між віртуальними підприємствами має такий вигляд (див. рис. 1):

$$C = (P, T, I, O) \quad (7)$$

Потужність множини віртуальних підприємств  $P - |P| = n$ . Потужність множини платіжних систем  $T - |T| = m$ . Учасник (віртуальне підприємство електронної комерції)  $p_i \in P$  є *вхідною позицією* процесу  $t_i$ , якщо  $p_i \in I(t_i)$ . Аналогічно,  $p_i \in P$  є *вихідною позицією* процесу  $t_i$ , якщо  $p_i \in O(t_i)$ . Входи і виходи процесів є комплектами позицій. *Комплект* є узагальненням множини. До комплекту можуть входити багаторазово повторені однакові елементи. Прикладом комплекту є  $O(t_1) = \{p_2, p_3, p_4, p_4\}$ . *Кратність вхідної позиції*  $p_i$  для процесу  $t_j$  – це число появ позиції у вхідному комплекті процесу  $\#(p_i, I(t_j))$ . Аналогічно, *кратність вихідної позиції*  $p_i$  для процесу  $t_j$  – це кількість появ позиції у вихідному комплекті процесу  $\#(p_i, O(t_j))$ . *Розширена вхідна функція*  $I(p_i)$  визначається так [3]:

$$\#(t_j, I(p_i)) = \#(p_i, O(t_j)). \quad (8)$$

*Розширена вихідна функція*  $O(p_i)$  визначається так [8–9]:

$$\#(t_j, O(p_i)) = \#(p_i, I(t_j)). \quad (9)$$

Графічним представленням системи фінансових взаємовідносин у віртуальному світі електронної комерції є дводольний орієнтований мультиграф. Структура системи складається з сукупності учасників і процесів. Відповідно, граф системи складається з двох типів вузлів. Кругок  $\bigcirc$  позначає учасника, а планка  $|$  позначає процес. Отже, оскільки вершини графу можна розділити на дві множини: учасників і процеси, то граф є дводольним. Орієнтовані дуги (стрілки) з'єднують учасників і процеси, при цьому деякі дуги напрямлені від учасників до процесів, а деякі від процесів до учасників. Такі дуги позначають вхідні і вихідні комплекти. Кратні виходи представлені кратними дугами. Оскільки можуть існувати кратні дуги між вершинами, то маємо *мультиграф*. Дуги є напрямлені, тому такий мультиграф є орієнтований. Отже, граф  $G$  системи фінансових взаємовідносин у віртуальному світі електронного бізнесу це дводольний орієнтований мультиграф,  $G = (V, A)$ , де  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_s\}$  – множина вершин,  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_r\}$  – комплект направлених дуг,  $a_i = (v_i, v_k)$ , де  $v_i, v_k \in V$ . Множину  $V$  можна розбити на дві підмножини що не перетинаються –  $P$  і  $T$ , так що  $V = P \cup T$ ,  $P \cap T = \emptyset$  і для будь-якої дуги  $a_i(v_i, v_k) \in A$  виконується одна з двох умов: або  $v_i \in T, v_k \in P$ , або  $v_i \in P, v_k \in T$ . Комплект направлених дуг  $A$ , що відповідають цій системі, визначається так [3]:

$$\#((p_i, t_j), A) = \#(p_i, I(t_j)); \quad (10)$$

$$\#((t_j, p_i), A) = \#(p_i, O(t_j)). \quad (11)$$

Двоїстим графом системи  $C = (P, T, I, O)$  є граф системи  $\bar{C} = (T, P, I, O)$ , тобто граф, в якого учасники і процеси поміняні місцями. Такі графи не становлять практичного інтересу, тому ми їх не розглядаємо. *Маркування* – присвоєння певної кількості фішок (грошових одиниць) учасникам системи взаємовідносин.

*Маркування – це ресурси користувача, тобто ресурси віртуального підприємства електронної комерції, які він може використати для проведення операцій в системі фінансових взаємовідносин учасників електронної комерції.*

Маркування  $\mu$  системи  $C = (P, T, I, O)$  є функцією, яка відтворює множину учасників  $P$  в множину невід'ємних цілих чисел  $N$ . Маркування можна також подати у вигляді  $n$ -мірного вектора  $\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)$ , де  $n = |P|$ ,  $\mu_i \in N$ . Вектор  $\mu$  визначає для кожного учасника  $p_i$  кількість фішок у цій позиції  $\mu_i$ . Частіше застосовується позначення маркування в вигляді функції  $\mu(p_i) = \mu_i$ . Маркована система  $M = (C, \mu)$  – це сукупність структури системи  $C = (P, T, I, O)$  і маркування  $\mu$ . На графі фішки позначаються у вигляді точки всередині кружка, що позначає дану позицію учасника.

Виконання системи  $C$  – це перерозподіл фішок за допомогою *запуску* процесів. При запуску процесу фішки видаляються з його вхідних позицій учасників і додаються до його вихідних позицій учасників. Процес може запускатися лише в тому випадку, коли він дозволений. Перехід називається дозволеним, якщо кожна з його вхідних позицій має кількість фішок не меншу ніж кількість дуг з позиції в процесі. Фішки у вхідній позиції, що дозволяють процес, називаються *дозвільними*.

Процес  $t_j \in T$  в маркованій мережі Петрі  $C = (P, T, I, O)$  з маркуванням  $\mu$  дозволений, якщо для всіх  $p_i \in P$  виконується умова [3]

$$\mu(p_i) \geq \#(p_i, I(t_j)). \quad (12)$$

Процес запускається видаленням всіх дозвільних фішок з його вхідних позицій і подальшим додаванням фішок за кожної з його вихідних позицій по одній фішці для кожної дуги. Процес  $t_j$  в маркованій системі з маркуванням  $\mu$  може бути запущений кожного разу, коли він дозволений. У результаті запуску дозволеного переходу  $t_j$  утворюється нове маркування  $\mu'$ , яке визначається таким співвідношенням [3]:

$$\mu'(p_i) = \mu(p_i) - \#(p_i, I(t_j)) + \#(p_i, O(t_j)). \quad (13)$$

*Стан* системи  $C$  визначається її маркуванням. Запуск будь-якого з процесів змінює стан системи шляхом зміни її маркування. Простір станів системи, що має  $n$  учасників, – це множина всіх маркувань, тобто  $N_n$ . Зміна стану системи викликана запуском процесу і визначається функцією  $\delta$ , яка називається *функцією наступного стану*. Функція наступного стану  $\delta$  для системи  $C = (P, T, I, O)$  з маркуванням  $\mu$  і процесом  $t_j \in P$  визначена тоді і лише тоді, коли  $\mu(p_i) \geq \#(p_i, I(t_j))$  для всіх  $p_i \in P$ . Якщо  $\mu(p_i)$  визначена, то  $\delta(\mu, t_j) = \mu'$ , де  $\mu'(p_i) = \mu(p_i) - \#(p_i, I(t_j)) + \#(p_i, O(t_j))$  для всіх  $p_i \in P$  [3]. Нехай це система  $C = (P, T, I, O)$  з початковим маркуванням  $\mu^0$ . Ця мережа може бути виконана послідовними запусками процесів. Запуск дозволеного процесу  $t_j$  призведе до утворення нового маркування  $\mu^1 = \delta(\mu^0, t_j)$ . В отриманому маркованому графі можна запустити будь-який інший дозволений процес, наприклад,  $t_k$ . Отримуємо маркування  $\mu^2 = \delta(\mu^1, t_k)$ . Цей процес можна продовжувати доти, доки дозволений хоча б один процес. При виконанні системи отримуємо дві послідовності. Послідовність маркувань  $(\mu^0, \mu^1, \mu^2, \dots)$  і послідовність процесів, які запускаються  $(t_{j1}, t_{j2}, t_{j3}, \dots)$ , пов'язані таким співвідношенням [3]:

$$\delta(\mu_k, t_{jk}) = \mu_{k+1}, k = 0, 1, 2, \dots \quad (14)$$

За допомогою цього співвідношення, маючи структуру системи  $C = (P, T, I, O)$ , початкове маркування  $\mu^0$  та послідовність станів  $(t_{j1}, t_{j2}, t_{j3}, \dots)$  можемо отримати послідовність  $(\mu^0, \mu^1, \mu^2, \dots)$ . Зворотний процес від послідовності маркувань до послідовності процесів можливий у більшості випадків, за винятком деяких вироджених випадків.

Для системи  $C = (P, T, I, O)$  з маркуванням  $\mu$  маркування  $\mu'$  називається *безпосередньо досяжним* з  $\mu$ , якщо існує процес  $t_j \in T$ , такий, що  $\delta(\mu, t_j) = \mu'$ , тобто  $\mu'$  можна отримати з  $\mu$  запуском одного з дозволених процесів. Множина досяжності  $R(C, \mu)$  для системи  $C = (P, T, I, O)$  з маркуванням  $\mu$  – це найменша множина маркувань, визначених так: 1.  $\mu \in R$ ; 2. якщо  $\mu' \in R$ , то для всіх  $\mu'' = \delta(\mu', t_j)$ ,  $t_j \in T$  виконується  $\mu'' \in R$ , тобто якщо якесь маркування належить множині досяжності, то всі досяжні з нього маркування також належать їй. Часто користуються поняттям розширеної функції наступного стану. Розширена функція вхідного стану визначається для маркування  $\mu$  та послідовності процесів  $\sigma = (t_{j1}, t_{j2}, \dots, t_{jn})$  таким правилом [3]:

$$\mu' = \delta(\mu, \sigma) = \delta(\dots \delta(\delta(\mu, t_{j1}), t_{j2}) \dots, t_{jn}), \quad (15)$$

тобто спочатку запускаємо процес  $t_{j1}$ , потім  $t_{j2}$  і так далі, до  $t_{jn}$ . *Дерево досяжності* системи  $C$  є ілюстрацією множини досяжності  $R(C, \mu)$ . Оскільки в багатьох випадках множина досяжності є нескінченною, то існують певні правила, які дають змогу відобразити її скінченим деревом досяжності. Для приведення дерева досяжності до скінченного представлення використовуються такі правила [3]. 1. Пасивні маркування, тобто маркування, в яких немає дозволених процесів, є *термінальними вершинами* дерева досяжності (не мають власних піддерев досяжності). 2. Якщо отримане маркування вже зустрічалось в дереві досяжності раніше, то такі маркування називають

дублюючими вершинами. Розгляд дублюючих вершин зайвий, оскільки отримане піддерево буде аналогічне. 3. Якщо в дереві досяжності отримуємо маркування, яке є більшим за одне з попередніх (на шляху до кореня) маркувань, то у всіх позиціях проставляємо символ  $\omega$ . За допомогою цих трьох правил множину досяжності будь-якої системи можна подати у вигляді скінченного дерева.

### Аналіз отриманих наукових результатів

Для прикладу побудуємо систему фінансових взаємовідносин між такими учасниками: користувач – клієнт ( $p_1$ ), Інтернет-аукціон ( $p_2$ ), банк клієнта та Інтернет - аукціону ( $p_3$ ), Інтернет-магазин ( $p_4$ ), банк Інтернет-магазину ( $p_5$ ). Аналогічно, маємо такі процеси: оплата за товар/послугу з боку клієнта ( $t_1$ ), фінансовий процес взаємодії між Інтернет-аукціоном, Інтернет-магазином та банком клієнта ( $t_2$ ), фінансові операції між Інтернет-магазином та його банком ( $t_3$ ), переказ грошей на рівні банків та Інтернет-магазину ( $t_4, t_5$ ).

$$\begin{array}{lll}
 C = (P, T, I, O); & I(t_1) = \{p_1\}; & O(t_1) = \{p_2, p_3, p_4, p_4\}; \\
 P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5\}; & I(t_2) = \{p_2, p_3, p_4\}; & O(t_2) = \{p_2\}; \\
 T = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5\}; & I(t_3) = \{p_4, p_4\}; & O(t_3) = \{p_5\}; \\
 & I(t_4) = \{p_5\}; & O(t_4) = \{p_3, p_4\}; \\
 & I(t_5) = \{p_3\}; & O(t_5) = \{p_5\};
 \end{array}$$

Рис.1. Приклад системи  $C$  у віртуальному світі електронної комерції

Для наведеного вище прикладу системи розширена вхідна і вихідна функції виглядатимуть так:

$$\begin{array}{ll}
 I(p_1) = \{ \}; & O(p_1) = \{t_1\}; \\
 I(p_2) = \{t_1, t_2\}; & O(p_2) = \{t_2\}; \\
 I(p_3) = \{t_1, t_4\}; & O(p_3) = \{t_2, t_5\}; \\
 I(p_4) = \{t_1, t_1, t_4\}; & O(p_4) = \{t_2, t_3, t_3\}; \\
 I(p_5) = \{t_3, t_5\}; & O(p_5) = \{t_4\}.
 \end{array}$$

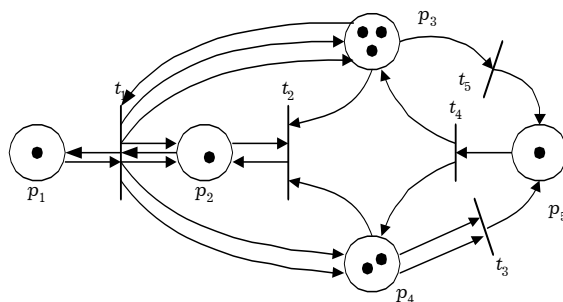


Рис. 2. Приклад графу маркованої системи  $C$ , представленій мережею Петрі

На рис. 2. подано граф системи з прикладу на рис. 1 з маркуванням  $\mu = (1, 2, 4, 8, 15)$ .

Фішка в позиції  $p_1$  є дозволеною для процесу  $t_1$ . Приклади запуску процесів системи  $C$  подано на рис. 3. Процес  $t_4$  не може бути запущений.

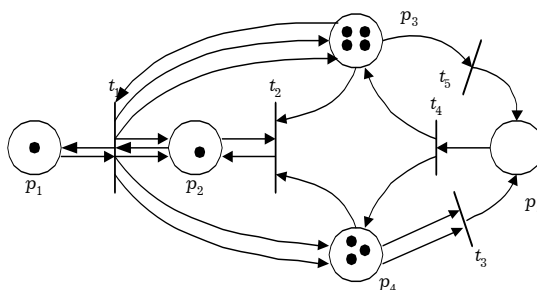


Рис. 3. Маркування отримане в результаті запуску переходу  $t_4$

Розглянемо послідовність запусків  $t_1 t_1 t_1$ . Кожного разу отримане маркування відрізняється від попереднього лише кількістю фішок в  $p_2 - p_3$  (зростає на одиницю) та в  $p_4$  (зростає на дві одиниці).



Запускаючи процес  $t_1$  багато разів, можна отримати яку завгодно велику кількість фішок у ньому. Оскільки запуск процесу збільшує кількість фішок в одній (декількох) позиціях, залишаючи незмінною кількість фішок в інших, то маркування позиції (позицій), в яких кількість фішок збільшилася, прийнято позначати символом  $\omega$ . Символом  $c$  позначимо сталу кількість фішок у позиції маркування, яка не змінюється на  $n$  кроці побудови дерева досяжності. Можна розширити це поняття на послідовність процесів  $\sigma$ , яка збільшує кількість фішок в якійсь позиції, не змінюючи інших позицій. Отже, якщо в дереві досяжності отримуємо маркування, яке є більшим за одне з попередніх (на шляху до кореня) маркувань, то у всіх позиціях, що є більшими, проставляємо символ  $\omega$  (рис. 5).

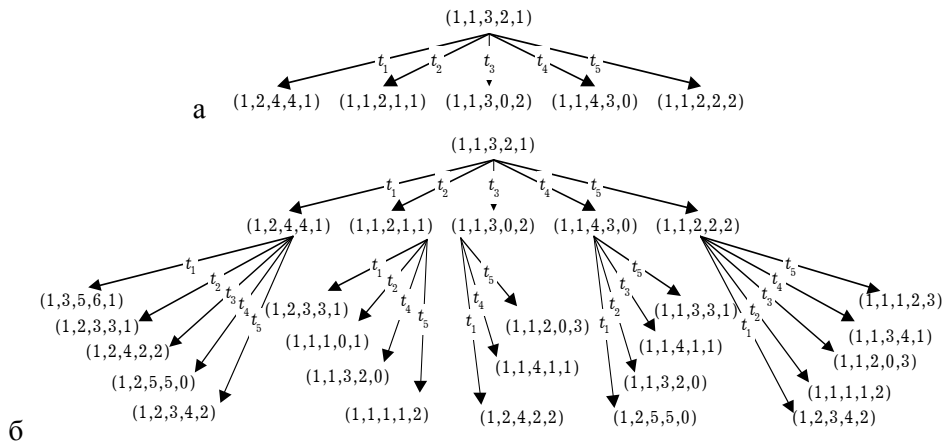


Рис. 4. Побудова дерева досяжності: а – перший крок; б – другий крок

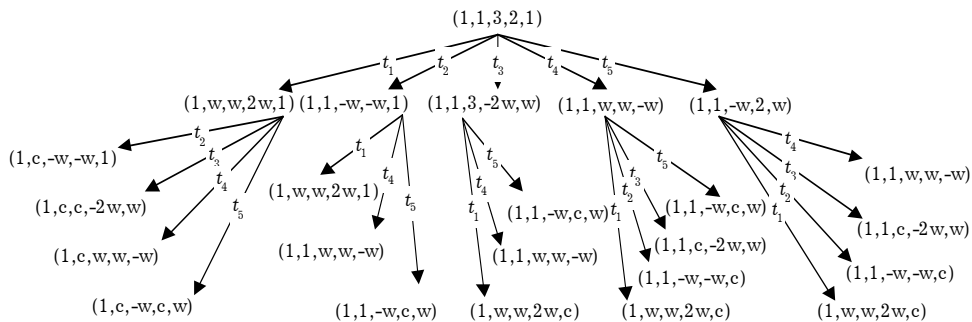


Рис. 5. Приведене дерево досяжності

Коротко проаналізуємо сучасні відомості з теорії інформації та визначимо їхні практичні можливості для формування математичного апарату інформаційного аналізу й умов функціонування складних систем електронної контент-комерції. Початком формування теорії інформації прийнято вважати праці К. Шеннона, хоча вони були зорієнтовані на дослідження систем зв'язку як певної сфери діяльності. Такий підхід зумовлений тим, що в них уперше було запропоновано означення кількості інформації. Означення, обґрунтоване К. Шенноном [1–3] на підставі поняття ентропії, описує математична формула:

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \log p_i. \quad (16)$$

Формула визначає ентропію повної групи випадкових подій або випадкових станів. Тут враховано, що за змістом ентропія є оберненою величиною до кількості інформації. Величина  $H$  – міра невизначеності множини, що складається з  $n$  випадкових подій з ймовірностями  $p_1, \dots, p_n$ . З формули (16) випливає, що  $H = 0$  за умови, що із множини подій відбудеться тільки одна, і принципово неможлива одночасна поява інших подій. Така умова виконується у разі послідовної

передачі повідомлення по літерах. На практиці часто виникає потреба кількісної оцінки інформації за умов, для яких принципово не можуть виконуватися зазначені раніше обмеження й припущення. Зокрема, під час аналізу факторів ризику не можна визначити склад множини позаштатних ситуацій та ймовірність виникнення кожної події. За аналогією з визначенням кількості інформації введемо такі поняття. Рівень інформованості ОПР – це показник рівня знань про предмет аналізу або досліджень. Кількісно рівень інформованості ОПР характеризуватимемо величиною зміни рівня невизначеності знань унаслідок одержання інформації. Під інформованістю ОПР розуміємо зміну рівня невизначеності знань про ситуацію або предмет аналізу внаслідок одержання інформації. З одержанням інформації рівень невизначеності ситуації може знижуватися, якщо інформація точна, але може і зростати, якщо вона навмисно перевернена або недостовірна (тобто не підтверджена досвідом, розрахунками, документами чи іншим способом).

Невизначеність ситуації можна оцінювати, враховуючи цілі системного аналізу, зокрема з погляду оцінювання ступеня і рівня ризику. Для кожної певної ситуації її характеризують такі види невизначеності знань: невизначеність, пов'язана з можливістю появи тієї чи іншої ситуації; невизначеність, що характеризується якістю наявної і нової інформації; невизначеність, пов'язана зі ступенем впливу тієї чи іншої ситуації на рівень ризику. Отже, підвищення рівня інформованості ОПР не завжди зумовлює розкриття невизначеності появи тієї чи іншої ситуації, як це було прийнято під час формування співвідношення (16). Тому доцільно визначити рівень інформованості ОПР з урахуванням усіх наведених факторів. Спочатку визначимо обернену величину – рівень неінформованості. Проаналізуємо деякі прийоми і суть розкриття невизначеності появи ситуацій. Вважатимемо, що рівень неінформованості – це невизначеність знання про появу тієї чи іншої альтернативи з прогнозованої множини ситуацій. Значення невизначеності знання можна оцінювати на підставі різних підходів. Нехай множина можливих ситуацій  $M_S$  – дискретна, і кожний елемент  $S_i$  множини  $M_S$  характеризує певна ймовірність  $p_i$  для  $i = \overline{1, m_S}$ . Тоді значення неінформованості  $H_S$  визначаємо як рівень невизначеності відомостей про  $M_S$ . Отже, маємо умову, аналогічну до умови для формули (16). Тому невизначеність можна визначити як ентропію

$$H_S = - \sum_{i=1}^{m_S} p_i \log p_i .$$

Зазначимо, що для рівномірних подій  $p_i = 1/m_S$  ;  $H_S = \log m_S$  .

Проаналізуємо вплив якості інформації на рівень інформованості ОПР. Слід звернути увагу на те, що оцінювання якості інформації найменш досліджене як в інформатиці, так і в інших дисциплінах, тією чи іншою мірою пов'язаних з інформацією: теорії оптимального управління, теорії прийняття рішень тощо. Немає прийнятої системи показників оцінки якісних характеристик інформації. Тому недоцільно зупинятися на аналізі різних підходів до їхньої формалізації, оскільки вони незастосовні до розв'язання більшості практичних задач системного аналізу. Наведемо істотні якісні властивості інформації, що принципово важливі для розв'язання задач системного аналізу, зокрема для оцінки ступеня і рівня ризику в штатних, позаштатних і критичних ситуаціях. **Невизначеність** – властивість, що відображає наявність декількох альтернативних описів ситуації. **Неточність** – властивість, що свідчить про наявність певного інтервалу допусків або похибки вимірів чи розрахунків у кількісних параметрах і/або якісних характеристиках опису ситуації. **Неповнота** – властивість, яка відображає наявність інформаційних прогалів в описі ситуації (щось пропущене, описане недостатньо тощо). **Нечіткість** – властивість, що характеризує розпливчастість опису ситуації, коли неможливо точно визначити наявність або відсутність певної властивості чи її точну кількісну характеристику (наприклад, не можна точно кількісно описати такі поняття, як комфортна погода, сприятлива ситуація – їхній опис суб'єктивний, розпливчастий). **Несвоєчасність** – властивість, що характеризує співвідношення в часі між моментом настання якоїсь події і моментом одержання інформації про неї. Якщо ОПР не має достатньо часу для формування і прийняття рішень на підставі отриманої інформації, то вона несвоєчасна.

**Недостовірність** – властивість, що відображає наявність кількісних даних або якісних характеристик, що не відповідають реальному стану ситуації. **Суперечливість** – властивість, яка свідчить про наявність кількісних або якісних характеристик, що мають значення або зміст, який суперечить іншим даним. Наведені означення потрібно враховувати під час формування показників інформованості ОПР. Розглянувши з погляду системного аналізу якісні властивості контенту, перейдемо до формалізації показників кількості та якості інформованості ОПР. Для ОПР важливо, що одержувана інформація мала мінімум зазначених властивостей, таких як неповнота, недостовірність, несвоєчасність тощо. Тому як вихідні поняття для визначення інформованості ОПР візьмемо властивості інформації, протилежні за значенням наведеним. Найважливішими з них із погляду ОПР є повнота, достовірність і своєчасність інформованості ОПР. **Повнота інформованості** – властивість, що характеризує відповідність кількості одержуваної ОПР інформації тій, котра потрібна для прийняття рішення. **Своєчасність інформованості** – властивість, що визначає, наскільки ресурс часу ОПР на формування і прийняття рішення відповідає ресурсу часу від моменту одержання інформації до моменту реалізації рішення. **Достовірність інформованості** – властивість, що характеризує відповідність одержаної ОПР інформації реальному стану наявної ситуації.

Кількісно повноту інформованості будемо характеризувати показником повноти інформованості  $I_v$ :  $I_v = \frac{V - V^-}{V^+ - V^-}$ , де  $V^+$ ,  $V^-$  – відповідно максимально доцільний і максимально допустимий обсяг інформації, потрібний для прийняття рішення у певних умовах;  $V$  – обсяг інформації, одержаної ОПР у наявній ситуації.

На етапі дослідження й проектування систем електронної контент-комерції при побудові й реалізації моделей (аналітичних та імітаційних) широко використовується метод статистичних випробувань (Монте-Карло), що ґрунтується на використанні випадкових чисел, тобто можливих значень деякої випадкової величини із заданим розподілом імовірностей. Статистичне моделювання – метод одержання за допомогою компютера статистичних даних про процеси, що відбуваються в системі. Для одержання оцінок характеристик, що становлять інтерес, системи  $S$  з урахуванням впливів зовнішнього середовища  $E$  статистичні дані опрацьовуються й класифікуються з використанням методів математичної статистики [1-3].

### **Висновки і перспективи подальших наукових розвідок**

У практиці моделювання систем електронної контент-комерції найчастіше доводиться мати справу з об'єктами, які в процесі свого функціонування містять елементи стохастичності або піддаються стохастическим впливам зовнішнього середовища. Тому основним методом одержання результатів за допомогою імітаційних моделей таких стохастичних систем є метод статистичного моделювання систем електронної контент-комерції, що використовує як теоретична база граничні теореми теорії ймовірностей. Можливість одержання користувачем моделі результатів статистичного моделювання складних систем в умовах обмеженості машинних ресурсів істотно залежить від ефективності процедур генерації псевдовипадкових послідовностей, покладених в основу імітації впливів на елементи моделіруємої системи електронної контент-комерції.

1. Берко А.Ю. Алгоритми опрацювання інформаційних ресурсів в системах електронної комерції / А.Ю. Берко, В.А. Висоцька, Л.В. Чурун // Вісник Національного університету “Львівська політехніка” Інформаційні системи та мережі. – 2004. - № 519. – С.10-20. 2. Берко А.Ю. Проектування навігаційного графу web-сторінок бази даних систем електронної комерції / А.Ю. Берко, В.А. Висоцька // Вісник Національного університету “Львівська політехніка” Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2004. – № 521. – С.48–57. 3. Советов Б.Я. Моделирование систем / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высшая школа, 1985.