УДК 004.942

А.В. Катренко, О.В. Грімнак
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра інформаційних систем та мереж

СИСТЕМА ПІДТРИМАННЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ БАГАТОКРОКОВИХ ПРОЦЕСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЛАНЦЮГІВ МАРКОВА

© Грімнак О.В., Катренко А.В., 2008

Проаналізовано результати застосування ланцюгів Маркова з використанням рекурентного методу з погляду оцінки їх ефективності для визначення оптимальної стратегії. Розроблено систему підтримання прийняття рішень (СППР) на основі проведених досліджень.

The analysis the results of application the Markov chains with the use of recurent method for forecasting of their efficiency for determination of optimum strategy is carried out. The decision support system (DSS) was develop on the basis of conduct researches.

Постановка проблеми

Сьогодні керівникам підприємств та організацій, главам держав постійно доводиться приймати конкретні рішення. Звичайно, що чим вищий рівень управління, тим вагомішим та значущим є відповідне рішення. Проте і кількість факторів, які необхідно враховувати в процесі прийняття рішень, значно більша. У зв’язку з цим виникає нагальна потреба у спеціалізованих засобах підтримання прийняття рішень. Насамперед йдеться про комп’ютерну підтримку діяльності керівників різного рівня. Вирішувати це завдання покликані комп’ютеризовані системи підтримання прийняття рішень (СППР – Decision Support System (DSS)). СППР по суті є системами, які розроблені для підтримання процесів прийняття рішень менеджерами різних рівнів в складних слабоструктурованих ситуаціях, пов’язаних з розробленням та прийняттям управлінських рішень. СППР – це інтерактивні автоматизовані інформаційні системи, які допомагають децидентам використовувати дані та моделі для того, щоб вирішувати слабоструктуровані проблеми.

СППР містять набір універсальних елементів, які утворюють базову модель: підсистему інтерфейсу користувача, підсистему управління базою даних та підсистему управління базою моделей [1]. Центральною ідеєю дослідження та побудови систем є те, що система повинна бути достатньо надійною та стійкою для досягнення певної мети. Мета відображає те, що може чи повинно виникнути, прообраз майбутнього, стан, якого бажано досягти [2]. Саме тому дослідження способів прийняття багатокрокових рішень з використанням ланцюгів Маркова, розроблення методів для підвищення надійності та якості отримання суб’єктивної інформації та створення системи підтримання прийняття рішень, що використовує отримані результати, є актуальними теоретичними та практичними задачами.

Аналіз останніх досліджень

Спектр використання СППР у сучасних умовах широкий – вони використовуються для підтримання прийняття рішень і в діяльності урядів, і в медицині, і в освіті, і в управлінні соціальними процесами. Проте найчастіше СППР використовують для підтримання прийняття рішень в економіці [3].

Наведемо математичну постановку задачі прийняття рішення. Будь-яка задача прийняття рішень характеризується такими елементами:

1. Множиною змінних, значення яких вибирає децидент. Називатимемо їх стратегіями або управляючими змінними і позначатимемо $X = \{x_j\}$;

2. Множиною змінних, які залежать від вибору стратегій. Їх називатимемо вихідними змінними задачі прийняття рішень або рішеннями $Y = \{y_j\}$;

3. Множиною змінних, значення яких не регулюються децидентом. Ці змінні можуть бути внутрішніми змінними і тоді їх називають параметрами системи $A = \{a_k\}$.

В інших випадках ці змінні можуть бути зовнішніми, які змінюються незалежно від децидента, і тоді їх називають зовнішнім середовищем $\Omega = \{w_j\}$.

Обмеження на керуючі і вихідні змінні, а також ресурси системи, які задаються у вигляді ресурсних функцій від управляючих змінних і вихідних змінних.

Цільова функція мети – критерій ефективності f, який залежить від прийнятих стратегій, параметрів системи і зовнішнього середовища

$$f : X \times A \times \Omega \to Y \tag{1}$$

Цей критерій може бути як скалярним, так і векторним. І в останньому випадку ми отримуємо багатокритерійну задачу прийняття рішень.

У загальному випадку математична модель задачі прийняття рішень має такий вигляд:

$$F = f(X, Y, A, \Omega) \to \max_{X}(\min) \tag{2}$$

при обмеженнях:

$$g_i(X, A, \Omega) \le b_i, i = \overline{1, m} \tag{3}$$

$$X_{\min} \le X \le X_{\max\ зад} \tag{4}$$

$$Y_{\min} \le Y \le Y_{\max\ зад}, \tag{5}$$

де $f(X, Y, A, \Omega) = [f_k(X, Y, A, \Omega)]$, $k = \overline{1, K}$ – цільова функція (критерій якості); $g_i(X, A, \Omega)$ – функція витрат і-го ресурсу; b_i – наявна величина і-го ресурсу в системі. Дуже часто обмеження (4), (5) мають такий вигляд (умови позитивності): $X \ge 0$, $Y \ge 0$ [4].

Одним з найважливіших чинників, який повинен враховуватися в процесі прийняття оптимальних рішень, є чинник невизначеності, який у випадку стохастичності є випадковістю. Чинник «невизначеності» не є адекватним чиннику «випадковості», оскільки при «випадковості» необхідно, щоб масові випадкові явища мали властивість статистичної стійкості. Це означає, що враховані випадкові явища підкоряються визначеним статистичним закономірностям, вимоги яких не обов'язкові при невизначеності.

Умова статистичної стійкості дає змогу використовувати в процесі прийняття рішень ефективні математичні методи теорії випадкових процесів і зокрема один з її розділів – теорію марківських процесів. Завдяки відносній простоті і наочності математичного апарату, високій достовірності і точності одержуваних рішень, марківські процеси привернули особливу увагу фахівців, що займаються дослідженням операцій і теорією прийняття оптимальних рішень. Саме тому й в статті для побудови СППР використаний апарат ланцюгів Маркова.

На основі прихованих марківських моделей розроблено базову систему розпізнавання мовлення, що використовує алгоритм ELVIRCOS, який дає змогу розпізнавати злите мовлення з великих словників [5]. Модель ланцюгів Маркова часто використовується для прогнозування ринку продажів, відображення поведінки споживачів відносно певних виробників продукції [6]. Також ланцюги Маркова застосовуються для оцінювання зайнятості інженерів у компаніях, що гарантує безперебійність їх роботи. Цей метод використовується інженерними компаніями для аналізу й оцінювання їхньої політики зайнятості [7].

Марківські випадкові процеси належать до випадкових процесів (ВП). Своєю чергою, випадкові процеси ґрунтуються на понятті випадкової функції. Випадковою функцією (ВФ) називається функція, значення якої при будь-якому значенні аргументу є випадковою величиною. Тобто, ВФ можна вважати функцію, яка при кожному випробуванні набуває якого-небудь наперед не відомого вигляду.

Неважко помітити, що якщо позначити стан S_i і зобразити залежність $S_i(t)$, то така залежність і буде випадковою функцією. Випадкові процеси класифікуються за станами S_i і аргументом t. При цьому ВП можуть бути з дискретними або безперервними станами або часом.

Якщо у ВП вірогідність переходу системи в кожний наступний стан залежить тільки від попереднього стану, то такий процес називають процесом без післядії, і цей процес володіє марківською властивістю.

Зазначимо, що випадковий процес з дискретними станами і часом називається випадковою послідовністю. Якщо випадкова послідовність володіє марківською властивістю, то вона називається ланцюгом Маркова. З іншого боку, якщо у випадковому процесі стани дискретні, час безперервний, то такий випадковий процес називається процесом Маркова з безперервним часом.

Залежність називають $P_{i/i+1} = f(S_i)$ перехідною вірогідністю. ВП Маркова називається однорідним, якщо перехідні вірогідності $P_{i/i+1}$ залишаються під час перебігу процесу.

Ланцюг Маркова вважається заданим, якщо задано дві умови:

1. Є сукупність перехідних вірогідностей у вигляді матриці:

$$P_n = \begin{vmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{vmatrix} \quad (6)$$

2. Заданий вектор початкових вірогідностей, що описує початковий стан системи:

$$P_n^0 = \left| P_{01}, P_{02}, \dots, P_{0n} \right| \quad (7)$$

Матриця (6) називається перехідною матрицею (матрицею переходу). Елементами матриці є вірогідність переходу з *i*-го в *j*-й стан за один крок процесу. Перехідна матриця (6) має такі властивості: $\forall P_{ij} \geq 0$; $\sum_{i=1}^{n} P_{ij} = 1$.

Стратегією p називається послідовність рішень:

$$p = (f_1, f_2, \dots f_n), \quad (8)$$

де $f_n = < k_1, k_2, \dots, k_n >$ – вектор управління. Задання стратегії означає повне описання конкретних рішень, що приймаються на всіх кроках процесу залежно від стану, в якому знаходиться у цей момент процес.

Якщо в послідовності (вектора) *p* всі *f* однакові, то така стратегія називається стаціонарною, тобто не залежить від номера кроку. Стратегія $p = (f_1, f_2, \dots, f_n)$ називається марківською, якщо рішення f_n, що приймається на кожному конкретному кроці, залежить лише від дискретного моменту часу *n*, але не залежить від попередніх станів. Оптимальною буде така стратегія, яка максимізує повний очікуваний дохід для всіх *i* та *n*.

Розглянемо рекурентний метод визначення оптимальних стратегій, який застосовується частіше за все при порівняно невеликій кількості кроків *n*. Його ідея ґрунтується на застосуванні принципу Річарда Белмана і полягає в послідовній оптимізації доходу на кожному кроці з використанням рекурентного рівняння такого вигляду:

$$u_i(n+1) = \max_k \left[q_i^k + \sum_{j-1}^{N} P_{ij}^{(k)} \times u_j(n) \right], \quad (9)$$

де $u_i(n+1)$ – повний очікуваний дохід за $(n+1)$ кроків, якщо система знаходиться в стані *i*, $q_i^k = \sum_{j-1}^{N} P_{ij}^{(k)} * r_{ij}^k$ – безпосередньо очікуваний дохід, тобто дохід на одному кроці, якщо процес почався з *i* стану, $u_j(n)$- величина повного очікуваного доходу за n-попередніх кроків, якщо процес починався з j-го стану [8].

Цілі статті

Отже, в процесі свого функціонування проектована СППР повинна виконувати такі функції:

1) аналізувати вхідну та отриману в результаті обчислень інформацію;
2) давати поради щодо вибору оптимального рішення (стратегії прийняття рішення);
3) пояснювати і зберігати отримані результати.

Вхідними даними є інформація, отримана від децидента щодо характеристик предметної галузі, в якій необхідно прийняти важливі рішення. Ця інформація включає:

1) кількість станів, в яких може опинитися фірма;
2) кількість стратегій, які планує реалізувати фірма;
3) ймовірності випадкових подій: дійсне число подвійної точності;
4) оцінки реалізацій стратегій (прибутки/збитки або інші оцінки).

Вихідними даними є оптимальний вектор стратегій прийняття рішень.

Загалом структуру системи підтримання прийняття рішень можна зобразити так:

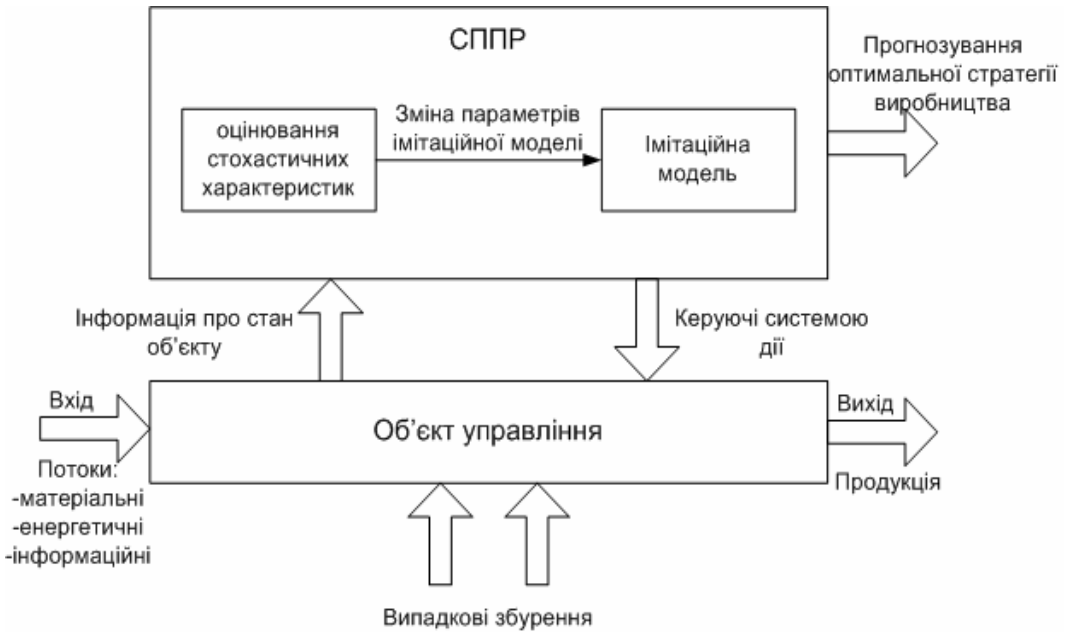

Рис. 1. Загальна структура СППР

Основний матеріал

Розглянемо доцільність застосування імітаційного моделювання і коли його варто застосовувати. Імітаційне моделювання переважно використовується для прийняття рішень під час проектування структури складної системи або для пошуку оптимальних значень її параметрів. Імітаційне моделювання – це окремий випадок математичного моделювання. Існує клас об'єктів,

для яких з різних причин не розроблені аналітичні моделі або не розроблені методи розв'язання одержаної моделі. У цьому випадку математична модель замінюється імітатором або імітаційною моделлю.

Метод машинної імітації є альтернативою математичному програмуванню та аналітичним методам досліджень. Через складність організації і відносно високу вартість проведення імітаційних експериментів його застосування вимагає вагомих підстав, до яких можна віднести неможливість закінченої математичної постановки задачі, відсутність аналітичних методів розв'язання сформульованої математичної задачі; надзвичайна складність існуючих аналітичних методів і непідготовленість децидентів до їх практичного використання.

Моделі імітаційного типу, що використовують апарат теорії марківських процесів і теорії відновлення, широко використовуються як засіб аналізу системи і прогнозу її перспективного розвитку. Шляхом багаторазових варіантних розрахунків, виконуваних на ЕОМ, вони дають змогу встановити простір, у межах якого може знадобитися прийняття рішень, а також сприяють виробленню раціональних управлінських стратегій.

Для прикладу розглянемо таку задачу.

Меблева фабрика випускає новий вид продукції – комплект меблів. Після випуску пробної партії підприємство може виявитися у двох станах:

1) продукція виявилася вдалою і користується попитом;
2) продукція виявилася невдалою.

Припустимо, що передбачається випускати цей вид продукції протягом року, при цьому, очевидно, керівництво фабрики повинне реагувати на той або інший стан шляхом вибору певної стратегії, яку за умовами виробництва можна змінювати не частіше і не рідше, ніж один раз в квартал. Очевидно, вид тієї або іншої стратегії залежить від стану, в якому виявилася фабрика на початку поточного кварталу. Передбачимо, що у розпорядженні керівництва є такий набір заходів (стратегій):

1) використання реклами – стратегія 1;
2) проведення додаткових досліджень вимог споживача та своїх можливостей – стратегія 2.

Передбачимо також, що при потраплянні в певний стан можливе об'єднання цих стратегій, тобто:

1) в стан перший – реклама не використовується і дослідження не проводяться (стратегія 1);
2) в стан другий – використовуються і реклама, і додаткові дослідження (стратегія 2).

Очевидно, що переходи із стану в стан утворюють випадкову послідовність.

Припустимо, що в результаті попереднього досвіду відома перехідна вірогідність такого ланцюга, а також значення прибутків (витрат), пов'язані із застосуванням тієї або іншої стратегії, а також вірогідністю успішного або неуспішного випуску продукції. Зазвичай, всі ці відомості представляються у вигляді таблиці.

Характеристики завдання

стан	**стратегія**	**ймовірність переходу**		**доходи**	
i	K	P_{i1}^k	P_{i2}^k	u_{i1}^k	u_{i2}^k
успішна продукція – S_1	1. без реклами	0,5	0,5	8	2
	2. з рекламою	0,9	0,1	4	4
неуспішна продукція – S_2	1. без досліджень	0,3	0,7	3	-5
	2. з дослідженнями	0,7	0,3	1	-20

Необхідно знайти вектор оптимальних стратегій.

Для розв'язання поставленої задачі і створення відповідної СППР вибрані такі методи та засоби:

1. Математичні моделі – моделі марківських процесів прийняття рішень;
2. Методи – аналітичні (рекурентний метод) та імітаційні;
3. Технологія програмування – об'єктно-орієнтоване програмування;
4. Мова програмування – C++;
5. Середовище програмування – Borland C++ Builder 6.0;
6. Середовище функціонування – ОС Windows.

Сьогодні, коли перед розробниками стоїть задача створювати все складніші додатки за все більш стислі терміни, інструментальні засоби, що дають змогу скоротити час розроблення додатків, стають справжньою знахідкою. Мабуть, до таких засобів можна віднести і продукт C++ Builder компанії Borland, який надає надійні інструментальні засоби для швидкого розроблення складних додатків.

Подамо архітектуру системи підтримання прийняття рішень на основі її візуальних форм та взаємодій між ними.

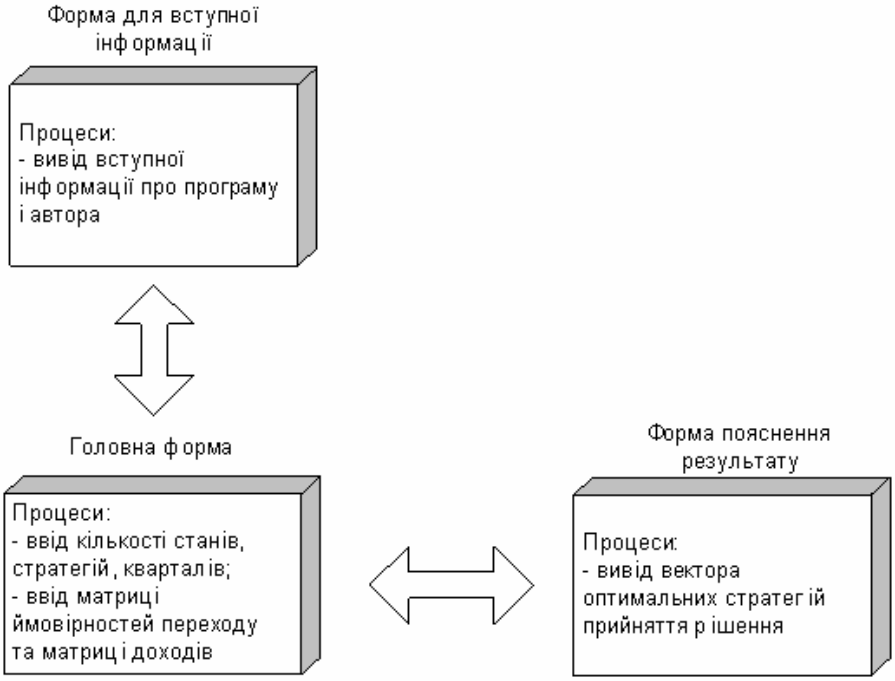

Рис. 2. Взаємодія між формами інтелектуальної системи

СППР пропонує користувачеві системи ввести кількість станів, в яких може знаходитись фірма, кількість стратегій та кількість кварталів, за якими потрібно розраховувати сумарні прибутки (рис. 3).

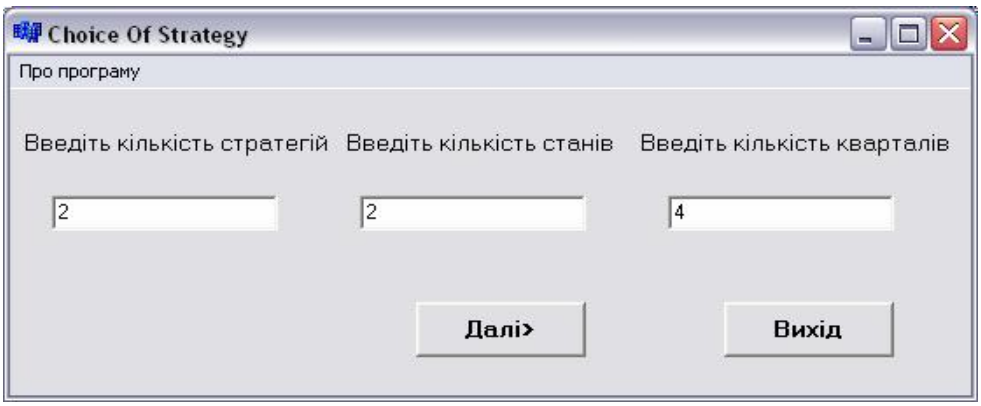

Рис. 3. Форма для введення даних

Після цього треба ввести матрицю ймовірностей переходу та матрицю доходів. Фактично на основі існуючих даних розраховують сумарні прибутки, порівнюють ці прибутки за стратегіями і вибирають оптимальний вектор стратегій (рис. 4.):

Рис. 4. Головна форма для введення даних

Ввівши всі дані в програму так, як це було описано вище, отримаємо такі результати:

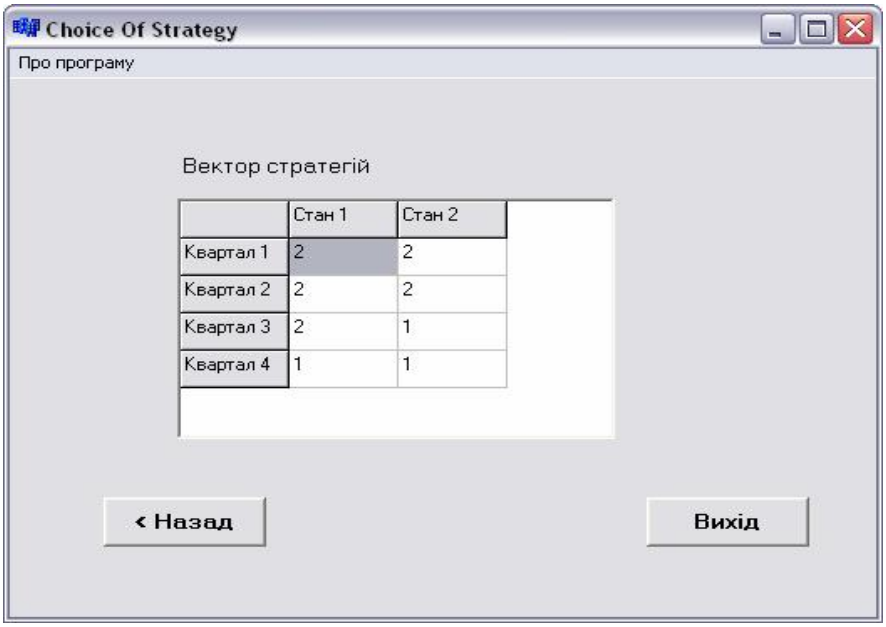

Рис. 5. Результати роботи програми

Отже, ми бачимо, що дана система має зручний і зрозумілий інтерфейс користувача, здатна швидко і якісно допомогти дециденту прийняти важливе рішення, оскільки процес отримання оптимальної стратегії, організований у вигляді послідовності обробки вхідних даних.

Висновки

Результатом проведених досліджень є створення системи підтримання прийняття рішень для багатокрокових процесів з використання ланцюгів Маркова.

Здійснено постановку задачі побудови системи підтримання прийняття рішень, визначено її функції та проаналізовано способи отримання оптимальної стратегії за допомогою рекурентного методу. Наведено приклад розв'язання задачі, для якої застосована методологія прийняття рішень за допомогою ланцюгів Маркова.

На основі проведених досліджень запропонована загальна послідовність основних етапів аналізу задачі прийняття рішень та обґрунтована доцільність застосування моделей процесів Маркова, розроблений алгоритм та відповідне програмне забезпечення для системи підтримання прийняття рішень.

1. Тельнов Ю.Ф. Интеллектуальные информационные системы в экономике. – М.: Синтег, 2002. – 316 с. 2. Катренко А.В. Системний аналіз об'єктів та процесів комп'ютеризації : Навч. посібник з грифом МОН. – Львів: Новий світ – 2000, 2003. – 424 с. 3. Чумаченко М.Г. Економічний аналіз: Навч. посібник. – 2-ге вид. — К.: КНЕУ, 2003. — 556 с. 4. Катренко А.В. Дослідження операцій: Підручник з грифом МОН. 2-ге вид. — Львів: Магнолія-2006, 2007. – 480 с. 5. Пилипенко В.В. Алгоритм розпізнавання злитого мовлення з надвеликих словників із застосуванням вибірки інформації з баз даних / [Електронний ресурс] / Пилипенко В.В. – Праці 8-ї міжнародної конференції «УкрОбраз-2006», Київ, 2006. — Режим доступу: http: // www. speech. com.ua / narticles.html 6. Dura C. The Use of Markov Chains in Marketing Forecasting / Dura C. – Annals of the University of Petrosani, Economics, 2006. – P: 69–76. 7. Kamal M. Markov Analysis of Saudization in Engineering Companies / Kamal M. Al-Subhi Al-Harbi – Journal of Management in Engineering, Vol. 13, No. 2, March/April 1997. – P. 87–91. 8. Чернов А.С. Марковские модели в экономических системах массового обслуживания / [Електронний ресурс] / Донецький Національний технічний університет, 2006. — Режим доступу: http://masters.donntu.edu.ua/2006/fvti/chernov/diss/index.htm.