

Галина Самигулина, Вальдемар Вуйцик, Зарина Самигулина
**ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ИММУННОСЕТЕВОЙ
 МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКОВ СЛОЖНОГО
 ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА**

В статье построена оптимальная иммунносетевая модель для интеллектуальной системы анализа многомерных данных и прогнозирования рисков сложных инвестиционных проектов с целью оперативного управления в процессе их реализации. На основе разработанной информационной базы экспертов и факторного анализа (метода главных компонент) выделены информативные признаки, характеризующие проект, и построена оптимальная иммунная сеть для дальнейшего прогнозирования рисков. Особенностью предлагаемой технологии является универсальность в отношении видов проектов и объемов финансирования. Подход искусственных иммунных систем позволяет обрабатывать огромное количество мнений различных экспертов за счет параллельной обработки многомерных данных и осуществлять оперативный контроль за ходом выполнения проекта.

Ключевые слова: искусственная иммунная система (ИИС); факторный анализ; иммунносетевое моделирование; оценка рисков; прогноз; оперативное управление.

Форм. 5. Рис. 4. Табл. 2. Лит. 15.

Галина Самігуліна, Вальдемар Вуйцик, Заріна Самігуліна
**ПОБУДОВА ОПТИМАЛЬНОЇ ІМУННОЇ МЕРЕЖЕВОЇ
 МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНКИ РИЗИКІВ СКЛАДНОГО
 ІНВЕСТИЦІЙНОГО ПРОЕКТУ***

У статті побудовано оптимальну імунномережеву модель для інтелектуальної системи аналізу багатовимірних даних і прогнозування ризиків складних інвестиційних проектів з метою оперативного управління в процесі їх реалізації. На основі розробленої інформаційної бази експертів і факторного аналізу (методу головних компонентів) виділено інформативні ознаки, що характеризують проект і побудовано оптимальну імунну мережу для подальшого прогнозування ризиків. Особливістю запропонованої технології є універсальність щодо видів проектів та обсягів фінансування. Підхід штучних імунних систем дозволяє обробляти значну кількість поглядів різних експертів за рахунок паралельної обробки багатовимірних даних і здійснювати оперативний контроль за ходом виконання проекту.

Ключові слова: штучна імунна система (ШИС); факторний аналіз; імунномережеве моделювання; оцінка ризиків; прогноз; оперативне управління.

Galina Samigulina¹, Waldemar Wojcik², Zarina Samigulina³
**DEVELOPMENT OF OPTIMAL IMMUNE NETWORK MODEL FOR
 RISK ASSESSMENT OF COMPLEX INVESTMENT PROJECT**

The article offers the development of optimal immune network model for the intellectual system of the data analysis and risks forecast of complex investment projects for the operational control of their implementation. On the basis of the developed expert information and the factorial analysis (principal components analysis), informative attributes characterizing the project and the optimal immune network for further risk forecasting have been identified. The peculiarity of the

* статтю підготовлено на основі доповіді на XII-му міжнародному науковому семінарі «Сучасні проблеми інформатики в управлінні, економіці, освіті та екології» (1–5 липня 2013 р., оз. Світьязь – Київ).

¹ Institute of Informatics and Control Problems, Almaty, Kazakhstan.

² Institute of Electronics and Information Technology, Lublin University of Technology, Poland.

³ K.I. Satpayev Kazakh National Technical University, Almaty, Kazakhstan.

proposed technology is the versatility of the projects types and funding. The approach of artificial immune system can handle a huge number of views of various experts with the help of parallel processing of multidimensional data and can implement the operational control over the project progress.

Keywords: artificial immune system (AIS); factorial analysis; immune-net modelling; risks estimation; forecast; operational control.

Постановка проблеми. Приоритетные цели и стратегии экономического развития современного общества определяют необходимость развития общей теории и информационных технологий построения интеллектуальных систем прогнозирования и управления инвестиционными проектами с использованием современных нетрадиционных подходов к искусственному интеллекту. Сложность оценки эффективности выполнения современных проектов, прогнозирование рисков при их выполнении и огромные объемы производимой информации превосходят человеческие возможности анализа этих данных. Актуальной проблемой является разработка новых нетрадиционных технологий обработки информации. Особенно интересны в данной контексте естественные системы, поражающие своей эффективностью и быстродействием. Разработка новых биологических подходов к имитационному моделированию вызывает большой интерес в мире. Наиболее распространенными являются клеточные автоматы, генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и искусственные иммунные системы.

Постановка задачи формулируется следующим образом: необходимо разработать процедуру построения оптимальной иммунной сети для интеллектуального анализа многомерных данных и прогнозирования рисков выполнения сложных проектов на основе технологии ИИС и факторного анализа данных с целью оперативного управления в ходе реализации проекта.

Под оптимальной структурой иммунной сети понимается сеть, построенная на основе весовых коэффициентов выделенных информативных признаков, которые наиболее полно описывают рассматриваемый проект. Критерием является максимальное сохранение информации при минимальном количестве признаков.

Анализ последних исследований и публикаций. В последнее время особое внимание уделяется искусственным иммунным системам, основанным на обработке информации молекулами белков и иммунологической реакции организма при вторжении чужеродных антигенов. Это относительно новая, но интенсивно развивающаяся область науки об искусственном интеллекте. Первые публикации по данному вопросу появились в 1994 г. и принадлежат С. Форресту и его команде [5].

Искусственные иммунные системы решают широкий спектр задач [1], включая бизнес, торговые отрасли, задачи оптимизации инвестиционного портфеля, электронной коммерции, управления поставками, поддержки принятия решений, рассмотрения механизмов кредитных котировок, банкротства и т.д. [8]. Также ИИС нашли свое применение при построении финансовой системы раннего предупреждения для Тайваньской банковской отрасли [6]. При кредитном анализе потребителей электроэнергии [15] ИИС используется в качестве алгоритма кластеризации. Интеллектуальные алгоритмы на основе

ИИС применяются для минимизации затрат на обеспечение ресурсами при планировании проекта [10].

Отрицательным фактором на фондовом рынке является аномальное колебание цен на акции. В связи с решением данной проблемы разработана модель оценки риска электронной коммерции на основе ИИС [7]. Актуально применение ИИС для решения задачи календарного планирования ресурсов. В работе [3] представлена задача минимизации времени обработки проекта, разработанная технология может быть использована для планирования производства, управления проектами и т.д. Инструменты оптимизации на основе ИИС позволяют достигать оптимального или близко к оптимальному решения в реальном времени. Работа [4] посвящена вопросам классификации в области финансов для ИИС. В работе [9] представлен алгоритм ИИС расчета стоимости обеспечения ресурсами, необходимыми для завершения проекта в указанный срок. Все выше перечисленное обуславливает актуальность применения подхода ИИС для решения широкого класса экономических задач.

Цель исследования – построение оптимальной иммунносетевой модели для оценки рисков сложного инвестиционного проекта.

Основные результаты исследования.

1. Принципы построения ИИС. В данной работе используется направление ИИС, основанное на механизме молекулярного узнавания. В этом случае базовым элементом является формальный пептид как математическая абстракция свободной энергии белковой молекулы от ее пространственной формы, описанной в алгебре кватернионов [14]. Достоинством ИИС является распределенность, самообучаемость, отсутствие централизованного контроля, самоорганизация и эволюция, малые вычислительные ресурсы, возможность параллельной обработки информации.

Алгоритм 1. Обработка многомерных данных на основе ИИС:

- 1) формирование баз данных и баз знаний;
- 2) классификация решений;
- 3) предобработка данных;
- 4) выделение информационно-ценных подмножеств признаков из общего множества входных признаков;
- 5) построение оптимальной структуры иммунной сети;
- 6) формирование матриц – эталонов для каждого класса;
- 7) обучение с учителем;
- 8) формирование матриц образов;
- 9) решение задачи распознавания образов на основе определения минимальной энергии связи между пептидами;
- 10) расчет коэффициентов риска прогнозирования на основе оценки энергетических погрешностей по гомологам [12];
- 11) прогноз данных и принятие решений на основе ИИС.

Для определения оптимальной структуры иммунной сети используется факторный анализ данных с помощью метода главных компонент на основе вращения собственного вектора [13]. Факторный анализ применяется с целью извлечения наибольшей информации из исходных данных путем устранения избыточности.

Алгоритм 2. Метод главных компонент для выделения информативных признаков:

1) определение базисного пространства R и проекции векторов данных на каждую из n -ортогональных осей. Исходная матрица данных A , размерности $m \times n$ представляется в матричной форме в следующем виде:

$$A = CV^T, \quad (1)$$

где V – матрица, столбцы которой – ортогональные оси; C – матрица, строки которой – координаты проекций каждого вектора данных в базисном пространстве R ;

2) умножение матрицы преобразования R^T на исходные данные A для того, чтобы повернуть против часовой стрелки оси координат на угол θ . Координаты новой матрицы B в матричной форме представляются в виде:

$$B = R^T A; \quad (2)$$

3) для того, чтобы найти ортогональные оси, представляющие направления максимума дисперсии, рассчитывается корреляционная матрица данных C , которая после поворотного преобразования осей становится диагональной:

$$C = \frac{1}{N-1}(X^T X), \quad (3)$$

где N – число столбцов в матрице X . Пусть $Y = B^T$, $X = A^T$, тогда: $Y = XR$, $Y^T = R^T X^T$.

4) необходимо найти такую матрицу преобразования R^T , чтобы применив ее к матрице X , получить новую систему координат Y , которая удовлетворяет выражение: $Y^T Y = R^T X^T X R = R^T C R = \Lambda$, где Λ – диагональная матрица. Необходимо, чтобы выполнялось условие:

$$C R = \lambda R. \quad (4)$$

Тогда получим:

$$(C - \lambda I)R = 0, \quad (5)$$

где λ – скалярные, диагональные элементы в матрице Λ .

5) задача имеет решение при:

$$|C - \lambda I| = 0; \quad (6)$$

6) после нахождения решения для λ , подставим их обратно в (5) и определим матрицу преобразования R ;

7) поворот исходных осей таким образом, чтобы дисперсии ассоциировались с новыми осями;

8) вычисление координат данных в новой системе координат.

Анализ данных и редукция тех, которые лежат ближе к началу координат и являются наименее информативными.

2. Применение технологии ИИС к оценке рисков сложного проекта. При построении ИИС для прогнозирования рисков нужно собрать и проанализировать мнения огромного количества экспертов, по многим критериям, из разных областей науки для решения поставленной проблемы [11]. Кроме того, желательно учитывать опыт реализации уже завершенных проектов. Требова-

нием к разрабатываемой технологии построения интеллектуальной экспертной системы является универсальность применения к проектам различного вида (строительным, образовательным, финансовым, социальным, производственным и др.) с учетом сроков выполнения проекта, объемов необходимых работ и количества исполнителей.

Принципы построения интеллектуальной экспертной системы на основе ИИС для оценки рисков проекта показаны на структурной схеме (рис. 1), которая состоит из основных блоков. Информация о проекте поступает в базу экспертов, затем осуществляется прогнозирование рисков на основе ИИС, далее блок принятия решения формирует оперативное управление проектом.

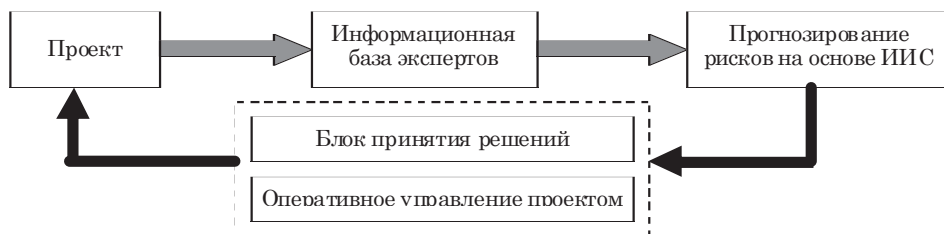


Рис. 1. Структурная схема построения интеллектуальной экспертной системы на основе ИИС, авторская разработка

Информационная база экспертов формируется следующим образом (рис. 2). Группы рисков представлены в виде g_1, g_2, \dots, g_n и соответствуют определенному виду экспертов (экономистов, математиков, юристов, социологов и т.д.).

Далее расписывается каждая группа рисков на факторы, которые способны повлиять на ход выполнения проекта. Например, коммерческие риски: экономический кризис, трудности внедрения проекта, окупаемость проекта и т.д.; нормативно-правовые риски: отсутствие единых стандартов, отсутствие законодательной базы, отличие от мировых стандартов и т.д.; организационные риски: отсутствие квалифицированных специалистов для разработки и внедрения проекта, плохая организация поставок, отсутствие оперативного контроля и т.д.

Затем производится анкетирование различных экспертов и оценка рисков по предложенной шкале. Можно проводить анкетирование по разным временным требованиям: для краткосрочного и долгосрочного прогнозов. Далее формируется информационная база экспертов, с использованием которой строится оптимальная иммунносетевая модель (Алгоритм 3).

Алгоритм 3. Построение оптимальной иммунносетевой модели для прогнозирования рисков сложных проектов:

- 1) формирование информационной базы данных экспертов;
- 2) осуществляется предварительная обработка данных: нормирование, центрирование, заполнение недостающих данных [2];
- 3) выделение наиболее значимых информативных признаков на основе метода главных компонент и стандартного пакета прикладных программ SPSS;

- 4) редукция малоинформативных признаков;
- 5) построение оптимальной структуры иммунной сети.

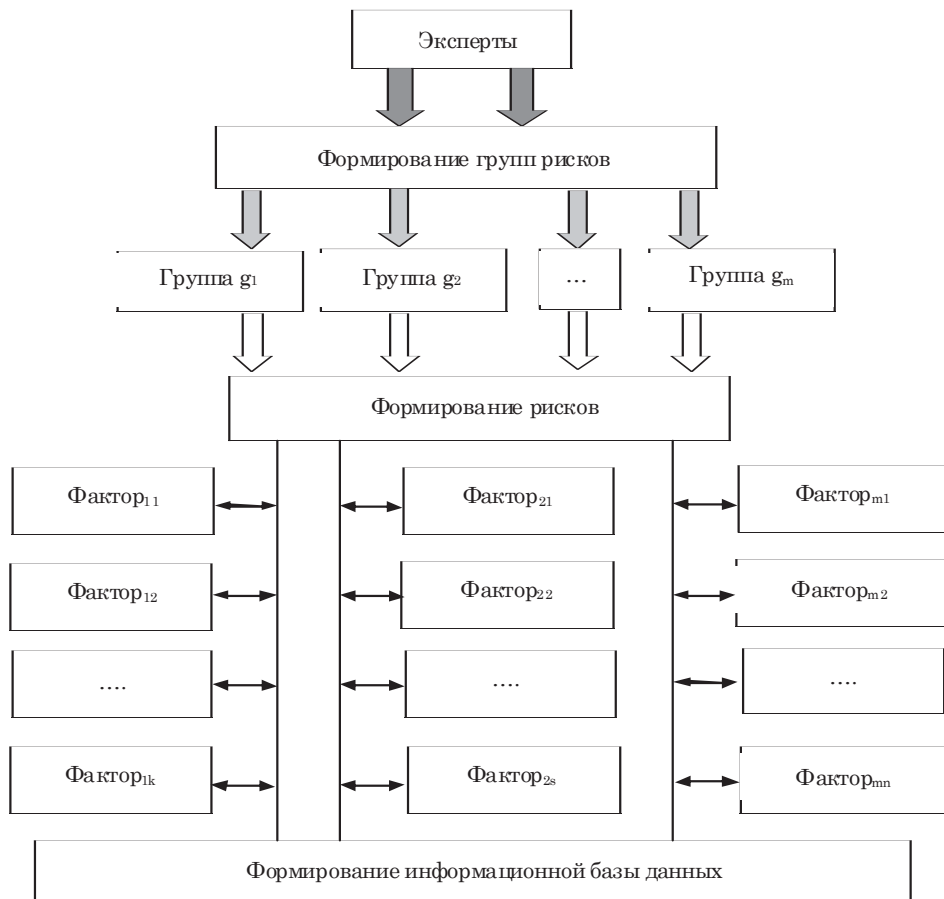


Рис. 2. Структурная схема формирования информационной базы экспертов, авторская разработка

3. Пример построения оптимальной иммунносетевой модели. Согласно Алгоритму 3 после формирования информационной базы данных экспертов (табл. 1) осуществляется предварительная обработка данных на основе факторного анализа (метода главных компонент).

Таблица 1. Фрагмент базы данных экспертной оценки рисков*

№	f1	f2	f3	f4	f5	f...	f33
1	55,56	78,23	67,00	18,34	34,56	....	78,23
2	54,21	80,25	56,21	20,23	32,21	....	80,25
3	63,45	82,56	57,98	19,12	31,45	....	82,56
4	57,40	92,21	65,00	23,54	33,40	....	92,21
....
24	59,34	91,23	58,22	18,97	31,98	....	91,29

* построено по данным [2].

В качестве исходной матрицы f возьмем фрагмент базы данных экспертной оценки рисков размерности (4×5) из табл. 1. В результате факторного анализа данных по предложенному Алгоритму 2 анализ собственных значений выявил собственные векторы, расположенные в порядке убывания собственных значений.

В табл. 2 приведены данные по выделению главных компонент, показаны собственные значения, соответствующие каждому фактору, процент дисперсии и накопленный процент дисперсии.

Таблица 2. Выделение главных компонент, авторская разработка

Компоненты	Собственные значения	Процент дисперсии	Накопленный процент дисперсии
1	3,116	51,937	51,937
2	1,932	32,208	84,145
3	0,951	15,855	-
4	3,086 ⁻¹⁶	5,14 ⁻¹⁵	-
5	8,382 ⁻¹⁷	1,397 ⁻¹⁵	-
6	-1,634 ⁻¹⁶	-2,723 ⁻¹⁵	-

В нашем примере в результате анализа данных получены: график компонент в повернутом пространстве (рис. 3) и график собственных значений (рис. 4).

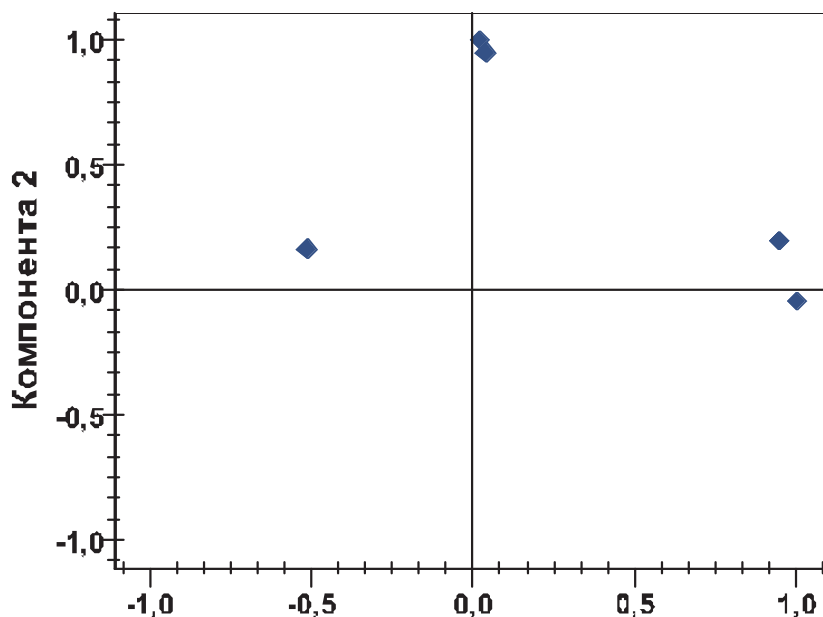


Рис. 3. График компонент в повернутом пространстве, построено по данным табл. 1 и 2

В результате факторного анализа данных было выделено два фактора, влияние остальных на систему не столь значительно, поэтому данные факторы можно не принимать во внимание. Полученные данные далее используются для решения задачи распознавания образов на основе ИИС.

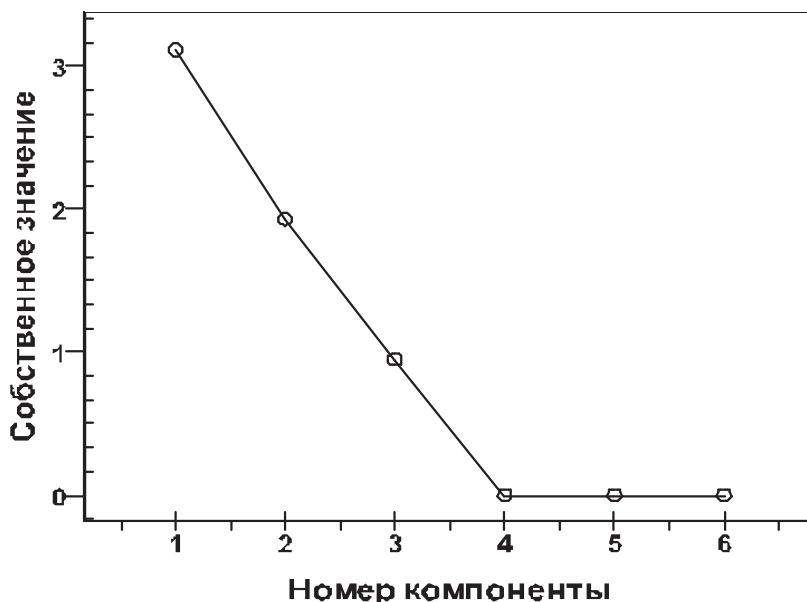


Рис. 4. Графік власних значень, побудовано по даним табл. 1 і 2

Висновки. Розроблена інтелектуальна система оцінки і прогнозування ризиків складного інвестиційного проекту на основі технології імунносетевого моделювання. Предложена інформаційна технологія складається з попередньої обробки даних, побудови оптимальної імунносетевої моделі, рішення задачі розпізнавання образів, оцінки енергетических погрешностей з метою зменшення помилки обобщення і прогнозування ризиків при виконанні складних проектів. Вибір оптимальної структури імунної мережі здійснюється на основі методу головних компонент по ваговим коефіцієнтам інформативних ознак, шляхом усунення надлишковості даних. Дана технологія націлена на підвищення достовірності прогнозу і здатності імунної мережі розпізнавати гомологічні пептиди на границях нелінійно розділених класів.

1. Дасгунта Д., Искусственные иммунные системы и их применение. – М.: 2006. – 344 с.
2. Разработка технологий иммунносетевого моделирования для решения различных прикладных задач: Монография / Г.А. Самигулина, С.В. Чебейко, О.И. Ширяева, З.И. Самигулина. – Алматы, 2011. – 220 с.
3. Agarwal, R., Tiwari, M.K., Mukherjee, S.K. (2007). Artificial immune system based approach for solving resource constraint project scheduling problem. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 34(5–6): 584–593.
4. Brabazon, A., Delahunty, A., O'Callaghan, D., Keenan, P., O'Neill, M. (2006). Financial Classification Using an Artificial Immune System. Business Applications and Computational Intelligence. 18 p.
5. Forrest, S., Perelson, A.S., Allen, L., Cherukuri, R. (1994). Self-nonsel self discrimination in a computer. IEEE Computer Society Symposium "Research in Security and Privacy": Proceedings, Oakland, May, 16–18, 1994 (pp. 202–212). Los Alamitos: IEEE Computer Society Press.
6. Hsieh, J.C., Chen, S.H., Chang, P.C. (2007). Application of artificial immune system in constructing a financial early warning system: an example of Taiwanese banking industry. ICICIC.

7. *Liu, T., Zhou, Y., Xie, C.* (2009). E-Commerce Risk Assessment Model Based on Immune Principal. CCPR.
8. *O'Neil, M., Brabazon, A.* (2012). A Survey of Immunocomputing in Business Analytics and Finance. ICARIS. 35 p.
9. *Peteghem, V., Vanhoucke, M.* (2013). An artificial immune system algorithm for the resource availability cost problem. Flexible Services and Manufacturing Journal, Springer, 25(1–2): 122–144.
10. *Rodrigues, S.B., Yamashita, D.S.* (2010). An exact algorithm for minimizing resource availability costs in project scheduling. European Journal of Operational Research, 206(3): 562–568.
11. *Samigulina, G.* (2013). Realization of the complex projects on the basis of the artificial immune systems approach: intellectual system of risks estimation. American Journal of Economics and Control Systems Management. Science Book Publishing House: 3–6.
12. *Samigulina, G.A.* (2012). Development of the decision support systems on the basis of the intellectual technology of the artificial immune systems. Automatic and remote control, Springer, 74(2): 397–403.
13. *Sharaf, M.A., Illman, D., Kowalski, B.R.* (1986). Chemometrics. NY: Willey.
14. *Tarakanov, A.O.* (1999). Formal peptide as a basic of agent of immune networks: from natural prototype to mathematical theory and applications. In: 1st International Workshop of Central and Eastern Europe on Multi-Agent Systems, (CEEMAS'99), St. Petersburg, Russia, 1–4 June, 1999 (pp. 281–292).
15. *Yang, S.* (2010). Artificial Immune System Clustering Algorithm and Electricity Customer Credit Analysis. Springer: Advancing Computing, Communication, Control and Management, 1(4): 97–102.

Стаття надійшла до редакції 17.09.2013.