

*В. І. Скіцько,*  
к. е. н., доцент, докторант, доцент кафедри економіко-математичного моделювання, ДВНЗ  
"Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана", м. Київ  
*Т. Б. Третяк,*  
магістрант, ДВНЗ "Київський національний економічний університет  
імені Вадима Гетьмана", м. Київ  
*Д. В. Бондарчук,*  
молодший веб-розробник, IT Doors, м. Київ

## ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ У ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНОМУ МОДЕЛЮВАННІ: ПРОБЛЕМИ, ДОСВІД ТА ПЕРСПЕКТИВИ

*V. Skitsko,*  
Candidate of Sciences (Economics), Docent, Postdoctoral Fellow, Associate Professor of Economic and Mathematical  
Modeling Department, Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman, Kiev  
*T. Tretiak,*  
graduate, Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman, Kyiv  
*D. Bondarchuk,*  
Junior Web Developer, IT Doors, Kyiv

USING GENETIC ALGORITHMS IN ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODELING: PROBLEMS,  
EXPERIENCE AND PROSPECTS

---

*Стаття присвячена проблемі практичного застосування інструментарію генетичного алгоритму як засобу оптимізації. Здійснено дослідження наукових робіт вітчизняних та зарубіжних дослідників та окреслено задачі, зокрема економічні, які можна ефективно розв'язувати за допомогою даного інструментарію. Проведено аналіз сучасних програмних засобів, що містять інструментарій генетичного алгоритму, та запропонована відповідна класифікація. Здійснено порівняльний аналіз досліджуваних програмних засобів та побудовано відповідну таблицю наявності тих чи інших характеристик в них. Окреслені проблеми, які існують у популяризації застосування інструментарію генетичних алгоритмів для широкого кола споживачів. Наведено концептуальні вимоги до програмного засобу реалізації генетичного алгоритму, який має бути доступним та зрозумілим для користувачів з різним рівнем підготовки та слугувати ефективним інструментом вирішення задач бізнесу.*

*The article is devoted to application of instruments of genetic algorithm as means of optimization. We performed a study of scientific works of domestic and foreign researchers and outlined problems, including the economic, that can be efficiently solved applying this tool. We performed the analysis of modern software containing genetic algorithm toolbox and offered the relevant classification. We conducted a comparative analysis of the studied software and built a corresponding table of availability of certain features in it. We outlined the problems that exist in promoting the use of tools of genetic algorithms for a wide range of customers. We also outlined the conceptual requirements to the software of implementation of a genetic algorithm that should be accessible and understandable for users with different backgrounds and serve as an effective tool for solving business tasks.*

---

*Ключові слова: генетичний алгоритм, програмне забезпечення, економіко-математичне моделювання.*  
*Key words: genetic algorithm, software, economic and mathematical modeling.*

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Бурхливий розвиток обчислювальної техніки сприяє розробці та використанню дедалі більш складних економіко-математичних методів та моделей, які відображають реальні процеси і дозволяють особам, що приймають рішення, краще розуміти предметні галузі, з якими вони мають справу, та розв'язувати проблеми, які раніше здавалися надто складними. Одними із найбільш поширених є задачі оптимізації, з якими ми постійно стикаємося у повсякденно-

му житті та бізнесі. Очевидно, що у повсякденному житті ми навряд чи будемо використовувати програмні засоби підтримки прийняття рішень на відміну від прийняття управлінських рішень у бізнесі, де необхідно управляти багатьма змінними та враховувати цілу низку обмежень, а кожне рішення повинно бути виваженим. Для знаходження оптимального розв'язку доцільно використовувати спеціально розроблені математичні методи та моделі за допомогою їх програмної реалізації у вигляді окремого (самостійного)

## МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є проведення аналізу та класифікації існуючих програмних комплексів та засобів, в яких реалізовано інструментарій генетичного алгоритму.

## ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

На сьогоднішній день існує ряд прикладних програмних продуктів, які реалізують інструментарій генетичних алгоритмів. Залежно від сфери використання, ступеня автономності та призначення, їх можна класифікувати, зокрема, наступним чином: спеціалізовані програмні засоби (або спеціалізоване програмне забезпечення); додатки до математичних та аналітичних пакетів; фреймворки та бібліотеки (рис. 1).

Наведемо характеристики окремих програмних продуктів, які відносяться до кожного з виділених класів.

Спеціалізоване програмне забезпечення (ПЗ):

1) NeuroShell Trader — ПЗ для створення торгової системи. Є інструментом, який дозволяє користувачеві створювати торгові моделі, поєднуючи штучний інтелект та традиційні методи. Дозволяє будувати моделі для акцій, ф'ючерсів, товарів, опціонів, FOREX, індексів, та ін. Можна створювати моделі для фондових бірж по всьому світу, таких як NYSE (New York Stock Exchange Index), FTSE (Financial Times Stock Exchange Index), DAX (Deutscher Aktienindex (German stock index)) та ін. Створені моделі автоматично тестуються та надають сигнали-прогнози з надходженням нових даних [7];

2) StrategyQuant — потужна платформа для розробки торгових систем для будь-яких ринків та часових періодів. Не потребує безпосереднього програмування та автоматично тестує згенеровані стратегії [8];

3) Genetic System Search for Technical Analysis — програмний засіб, який допомагає користувачеві визначати правила роботи та розробляти власні інвестиційні торгові системи [9].

Додатки до математичних та аналітичних пакетів:

1) XL BIT — додаток до MS Excel, універсальний інструмент для оптимізації та прогнозування. До задач, які можна вирішувати за його допомогою відносяться обробка зображень, складання розкладів, вибір акцій, розпізнавання підозрюваних, управління задачами, торгівля на Forex. Особливостями даного програмного засобу є те, що у роботі з генетичним алгоритмом можна використовувати до 100 популяцій, три методи схрещування на вибір та два види масштабування функції пристосованості, доступна можливість налаштування рівнів схрещування та мутацій під час роботи програми та відстежувати значення змінних, а кількість оптимізованих змінних залежить тільки від швидкості комп'ютера та об'єму пам'яті; є можливість налашту-

програмного продукту чи спеціально розробленого модуля до існуючого програмного продукту.

Особливу цінність має універсальний інструментарій моделювання, який можна використовувати для вирішення задач різних сфер економіки. До такого інструментарію можна віднести генетичні алгоритми — адаптивні методи, засновані на принципах біологічної еволюції. Їх основними перевагами є порівняно висока швидкість знаходження задовільного за певних умов рішення та унікальний спосіб роботи: реалізуючи механізми схрещування, відбору, мутації та інших генетичних операторів, алгоритм перебирає наступні "покоління" розв'язків, доки не знайде оптимального результату або не вичерпає певну кількість часу чи циклів, відведених на його роботу.

Генетичні алгоритми є ефективним інструментом вирішення оптимізаційних задач, проте досі не набули масового використання. Це пов'язано, зокрема, з низкою обмежень, які закладено у роботу даного інструментарію, а також необхідністю їх програмної реалізації. Детально про переваги та недоліки генетичних алгоритмів написано, зокрема, в [1]. За час існування та використання генетичних алгоритмів з'явилось багато їх модифікацій та програмних реалізацій, тому існує потреба в їх дослідженні.

## АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Наразі у більшості наукових роботах досліджуються окремі питання практичного використання генетичних алгоритмів та пропонуються певні модифікації генетичного алгоритму. Серед цих робіт, переважна більшість присвячена проблемам логістики.

Наприклад, Н.В. Ситник та О.Г. Черненко досліджують методи, які можна використати для розв'язання задач визначення оптимальних транспортних маршрутів портового оператора [2]. А. Раїчаудхурі (A. Raichaudhuri) та А. Жайн (A. Jain) у своїй роботі [3] розглядають питання оптимізації витрат в логістичних мережах за допомогою генетичних алгоритмів. Ними запропоновано математичну модель, яка враховує витрати на сировину, виробництво, інвентаризацію, перевезення між сторонами і основні експлуатаційні витрати та дозволяє моделювати логістичну мережу, цілком близьку до реальної, що доведено експериментально. П. Понгчароем (Pongcharoen P.) та його колегами в статті [4] запропоновано модифікацію генетичного алгоритму для оптимізації логістичної мережі, яка за своєю структурою подібна до мереж реальних підприємств. Їх робота представляє новий підхід до класичної мережевої задачі оптимізації — задачі транспортування. Керування транспортом, що проходить маршрут, та управління неточною або неповною інформацією здійснюється за допомогою теорії нечітких наборів, а оптимізація розподіленої мережі — за допомогою генетичного алгоритму. Генетичний алгоритм було вибрано у якості основного інструменту оптимізації через відсутність обмежень при реалізації та можливість використання нечіткої функції пристосованості. Авторами запропоновано модель розповсюдження товару, яка отримала назву транспортної нечіткої мережі. В роботі [5] наводиться цілий ряд задач, до яких можна успішно застосовувати генетичні алгоритми та пропонується розв'язання задачі визначення найдешевшого логістичного маршруту шляхом застосування нечіткої логіки для подання значень змінних і цільової функції та генетичного алгоритму для оптимізації. У своїй роботі [6] Ч. Вен (Wen C.) та Р. Еберхарт (Russell C. Eberhart) обґрунтовують доцільність застосування інструментарію генетичних алгоритмів для вирішення задач планування та ефективного розподілу ресурсів та наводять відповідну математичну модель розв'язку таких задач.

Аналіз наведених вище та інших робіт показав, що переважно досліджується математичний апарат генетичних алгоритмів і фактично відсутні системні дослідження програмних реалізацій генетичних алгоритмів, що і зумовило вибір мети даної роботи.

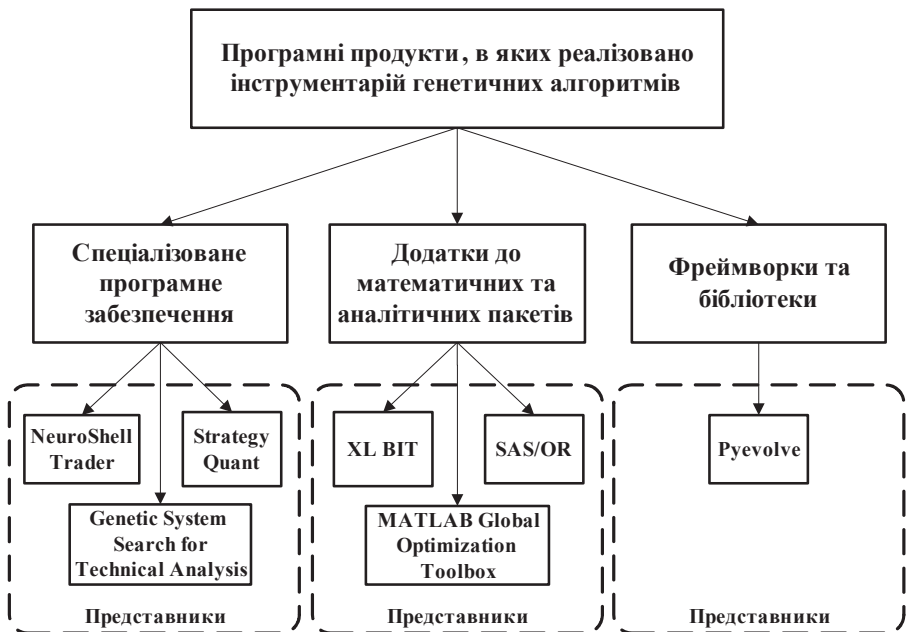


Рис. 1. Класифікація програмних продуктів, в яких реалізовано інструментарій генетичних алгоритмів

Джерело: побудовано авторами на основі [7—13].

Таблиця 1. Порівняльна характеристика програмних засобів, в яких реалізовано інструментарій генетичного алгоритму

| Характеристика   | Назва програмного засобу |                |  |        |        |                             |          |
|--|--------------------------|----------------|--|--------|--------|-----------------------------|----------|
|  | NeuroShell Trader        | Strategy Quant | Genetic System Search for Technical Analysis | XL BIT | SAS/OR | Global Optimization Toolbox | Pyevolve |
| Мультиплатформність  | -                        | -              | -  | -      | +      | +                           | +        |
| Універсальність  | -                        | -              | -  | +      | +      | +                           | +        |
| Незалежність   | +                        | +              | +  | -      | -      | -                           | +        |
| Комерційність  | +                        | +              | +  | +      | +      | +                           | -        |
| Високі вимоги до знань користувача                           | -                        | -              | -  | -      | +      | +                           | +        |
| Зручна документація та відкриті ресурси для навчання         | +                        | +              | -  | +      | -      | +                           | -        |
| Можливість налаштування параметрів генетичного алгоритму     | -                        | -              | -  | +      | +      | +                           | +        |
| Можливість перегляду статистики роботи генетичного алгоритму | -                        | -              | -  | +      | -      | +                           | +        |

Джерело: побудовано авторами на основі [7—13].

вання випадкових вихідних даних та генерації детального звіту та графіку пристосованості [10];

2) пакет SAS/OR містить інструментарій оптимізації, планування, моделювання і можливості розв'язання задач у середовищі, що здатне до самоприспосовування; це потужний набір наукових рішень задач, який надає компаніям знання, яких вони потребують для ідентифікації та оптимізації бізнес-процесів та управлінських рішень. SAS/OR розроблене для побудови моделей прийняття рішень, які можна віднести до математичного програмування, симуляції дискретних подій, планування проектів та ресурсів, аналізу рішень тощо [11];

3) Global Optimization Toolbox є додатком для програмного пакету MATLAB. Надає методи знаходження глобальних розв'язків для задач, що містять більше одного максимуму чи мінімуму. Ці методи можна використовувати для рішення оптимізаційних задач, в яких цільова функція є скінченною, нескінченною, стохастичною, не містить похідних, або включає симуляції чи закриті функції з явно не заданими значеннями для параметрів у налаштуваннях. До особливостей даного інструменту можна віднести вибір оптимального компоненту шляхом використання змішано-цілочислового генетичного алгоритму; обмежену мінімізацію та багатокритеріальну оптимізацію, можливість налаштування генетичного алгоритму та за застосування гібридних схем; пошук мінімуму функції Растрігіна [12].

Фреймворки:

1) фреймворк Pyevolve — був розроблений з метою побудови цілісного фреймворку для генетичних алгоритмів. Особливостями фреймворку є мультиплатформне використання, просте для використання API, надання можливості користувачеві створювати нові представлення та генетичні оператори і взаємодіяти з еволюційною статистикою; висока швидкодія; багатий набір стандартних можливостей та параметрів за замовчуванням; відкритий код [13].

Перелік зазначених вище програмних засобів не є вичерпним. Він сформований на основі лише проаналізованих авторами джерел.

Спеціалізовані програмні засоби направлені на вирішення вузького кола прикладних задач. Вони є простішими для освоєння та користування для кінцевого користувача, але обмежені для використання широким колом споживачів через свою вузьконаправленість. Додатки до математичних пакетів надають можливість користувачеві розв'язувати широке коло задач, але потребують встановлення дорогих математичних пакетів та вимагають від користувача відповідного рівня знань та навичок. Фреймворки є безкоштовними та дозволяють користувачу будувати власні програмні засоби на основі існуючого коду, але потребують від нього навичок у програмуванні.

Здійснимо порівняння досліджуваних програмних засобів за такими характеристиками:

- мультиплатформність — чи можливо використовувати програмний засіб на різних операційних системах;
- універсальність — чи є засіб універсальним, або ж вирішує певну конкретну задачу;
- незалежність — чи потребує встановлення додаткових програмних продуктів;
- комерційність — чи є засіб платним;
- високі вимоги до знань користувача — чи може використовувати програмний засіб користувач без певного рівня знань та підготовки;
- зручна документація та відкриті ресурси для навчання — чи наявна доступна зрозуміла документація, керівництво користувача та чи є відкриті (безкоштовні) навчальні ресурси;
- можливість налаштування параметрів генетичного алгоритму — чи дозволяє програмний засіб налаштувати параметри генетичного алгоритму (рівні схрещування, мутації та ін.);
- можливість перегляду статистики роботи генетичного алгоритму — чи є в програмному засобі можливість переглядати звіти та візуалізації за результатами роботи алгоритму.

Результати порівнянь наведено в таблиці 1, де знак "+" означає наявність характеристики, знак "-" означає відсутність характеристики.

Генетичний алгоритм як засіб вирішення оптимізаційних задач має свої переваги та недоліки, проте однією із основних переваг є можливість його використання у вирішенні складних задач, для яких наразі не існує методів для їх розв'язку, але можна отримати припустиме рішення. Окрім того, за допомогою імплементації генетичного алгоритму можна досягти покращення результатів у випадках, де використовуються традиційні чи спеціально розроблені методи та підходи [14]. Генетичний алгоритм доречно використовувати у випадках, коли [14]: область допустимих рішень є дискретною; можливе існування множини локальних оптимумів; рішення на повинно бути надточним. Невдвлячись на низку переваг генетичних алгоритмів, наразі вони не набули такого широкого використання у вирішенні економічних задач, як, наприклад, штучний нейронні мережі чи інструментарій нечітких множин та нечіткої логіки. Однією із основних причин є те, що існуюче програмне забезпечення, яке реалізує інструментарій генетичних алгоритмів, або надто спеціалізоване, або входить до складу комплексу дорогих програмних пакетів, чи потребує залучення спеціалістів для розробки рішень на базі існуючих фреймворків.

Для поширення та популяризації використання генетичних алгоритмів, на наш погляд, необхідна поява на ринку програмних засобів, які, мають задовольняти, зокрема, наступним концептуальним вимогам:

- мати орієнтацію на певну предметну область, але дозволяти розв'язувати в її межах різні класи задач, напри-

лад, задачі складання розкладів та оптимізації транспортних маршрутів для логістики — це дозволить спростити структуру програмного засобу та спроекувати інтерфейс для взаємодії з конкретним колом користувачів;

— мати просту для вивчення мову команд, що надасть можливість використовувати таку мову широкому колу користувачів з різним рівнем освіти;

— бути автономними та цілісними, не потребувати підключення зовнішніх програмних пакетів чи бібліотек — для зручності встановлення та підтримки;

— надавати систему звітів для контролю роботи генетичного алгоритму та докладного аналізу результатів;

— мати чітку документацію, доступне для розуміння керівництво користувача та достатню кількість файлів-прикладів для прискорення процесу навчання та опанування інструментів програмного засобу користувачами тощо.

Поява подібних програмних продуктів на ринку, за умови їх якісної реалізації та доступної ціни, може не тільки стати у пригоді користувачам, а і стимулювати дослідження у даній сфері та привести до розробки покращених методів оптимізації та розширення сфери використання генетичних алгоритмів.

### ВИСНОВКИ

Авторами статті проведено дослідження програмних засобів, в яких для моделювання використовується інструментарій генетичного алгоритму; запропонована класифікація цих програмних засобів; висунуті власні концептуальні положення щодо розробки нового програмного продукту, який реалізує інструментарій генетичного алгоритму.

Незважаючи на описані в статті проблеми застосування генетичних алгоритмів широким загалом користувачів, автори вбачають перспективу використання даного інструментарію середнім та малим бізнесом, адже він дозволяє вирішувати широке коло економічних задач. У подальших дослідженнях вбачаємо за доцільне зосередитися на практичній реалізації інструментарію генетичних алгоритмів у вигляді відповідного програмного продукту, який повинен задовольняти висунутим у даній статті вимогам.

### Література:

1. Субботін С.О. Неітеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечіткологічних і нейромережних моделей: монографія / С.О. Субботін, А.О. Олійник, О.О. Олійник / Під заг. ред. С. О. Субботіна. — Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. — 375 с.
2. Ситник Н. В., Черненко С.О., Модель та генетичний алгоритм визначення оптимальних транспортних маршрутів для портових операторів [Електронний ресурс] // Вчені записки. — № 14. — 2012. — С. 274—281. — Режим доступу: <http://ir.kneu.edu.ua:8080/bitstream/2010/2232/1/Sutnuk.pdf>
3. Raichadhuri A., Jain A., Genetic Algorithm based Logistics Route Planning [Електронний ресурс] // International Journal of Innovation, Management and Technology. — June 2010. — Vol. 1, no. 2. — P. 205—207. — Режим доступу: <http://www.ijimt.org/papers/38-M415.pdf>
4. Pongcharoen P., Khadwilard A., Klakankhai A., Multi-matrix Real-coded Genetic Algorithm for Minimising Total Costs in Logistics Chain Network [Електронний ресурс] // International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering. — 2007. — Vol. 1. — no.11. — P. 574—579. — Режим доступу: <http://waset.org/publications/15279/multi-matrix-real-coded-genetic-algorithm-for-minimising-total-costs-in-logistics-chain-network>
5. Lopez-Gonzalez E., Rodriguez-Fernandez M. A., Mendana-Cuervo C. The Logistic Decision Making in Management Accounting with Genetic Algorithms and Fuzzy Sets [Електронний ресурс] // Mathware and Soft Computing. — 2000. — Vol. 7, no. 2—3. — P. 229—241. — Режим доступу: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/3579/11lopez.pdf>
6. Wen C., Russell C. Eberhart, Genetic Algorithm for Logistics Scheduling Problem [Електронний ресурс] // Evolutionary Computation. — 2002. — CEC '02. Proceedings of the 2002 Congress on (Volume:1). — С. 512—516. — Режим доступу: [http://dynamics.org/Altenberg/UH\\_ICES/EC\\_REFS/GP\\_REFS/CEC/2002/GP\\_WCCI\\_2002/7173.PDF](http://dynamics.org/Altenberg/UH_ICES/EC_REFS/GP_REFS/CEC/2002/GP_WCCI_2002/7173.PDF)
7. Матеріали офіційного сайту NeuroShell Trader [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.neuroshell.com/neuroshell-information.html#f5>

8. Матеріали офіційного сайту StrategyQuant [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.strategyquant.com>

9. Матеріали офіційного сайту проекту Genetic System Search for Technical Analysis [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.gssta.com/>

10. Матеріали офіційного сайту компанії XLPert [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.xlpert.com/software-XL-Bit.html>

11. Матеріали офіційного сайту компанії SAS [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://support.sas.com/rnd/app/or/GA.html>

12. Матеріали офіційного сайту компанії The Mathworks [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.mathworks.com/products/global-optimization/>

13. Матеріали офіційного сайту проекту Pyevolve [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://pyevolve.sourceforge.net/>

14. Вітлінський В.В. Еволюційне моделювання в процесах прийняття рішень / В.В. Вітлінський, В.І. Скіцько // Актуальні проблеми економіки. — 2013. — № 1. — С. 187—201.

### References:

1. Subbotin, S. O. (2009), Neiteratyvni, evoliutsiini ta multyahentni metody syntezu nechtikolohichnykh i neiro-mereznykh modelei [Uniterative, evolutionary and multi-agent methods of synthesis of fuzzy logic and neural network models], Zaporizhzhia, ZNTU.
2. Sytnyk, N. V. Chernenko, S. O. (2012), "Model and genetic algorithm for determining the optimal transportation routes for port operators", Vcheni zapysky, [Online], vol.14, pp. 274—281, available at: <http://ir.kneu.edu.ua:8080/bitstream/2010/2232/1/Sutnuk.pdf> (Accessed 15 January 2016).
3. Raichadhuri, A. Jain, A. (2010), "Genetic Algorithm based Logistics Route Planning", International Journal of Innovation, Management and Technology, [Online], June, Vol. 1, No. 2, p. 205—207, available at: <http://www.ijimt.org/papers/38-M415.pdf> (Accessed 15 January 2016).
4. Pongcharoen, P. Khadwilard, A. Klakankhai, A. (2007), "Multi-matrix Real-coded Genetic Algorithm for Minimising Total Costs in Logistics Chain Network", International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering, [Online], vol.1, no.11, pp. 574—579, available at: <http://waset.org/publications/15279/multi-matrix-real-coded-genetic-algorithm-for-minimising-total-costs-in-logistics-chain-network> (Accessed 15 January 2016).
5. Lopez-Gonzalez, E. Rodriguez-Fernandez, M. A. Mendana-Cuervo, C. (2000), "The Logistic Decision Making in Management Accounting with Genetic Algorithms and Fuzzy Sets", Mathware and Soft Computing, [Online], vol. 7, no. 2—3, pp. 229—241 — available at: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/3579/11lopez.pdf> (Accessed 15 January 2016).
6. Wen, C. Russell, C. Eberhart, (2002), "Genetic Algorithm for Logistics Scheduling Problem", Evolutionary Computation, 2002. CEC '02. Proceedings of the 2002 Congress on (Volume: 1), [Online], pp. 512-516, available at: [http://dynamics.org/Altenberg/UH\\_ICES/EC\\_REFS/GP\\_REFS/CEC/2002/GP\\_WCCI\\_2002/7173.PDF](http://dynamics.org/Altenberg/UH_ICES/EC_REFS/GP_REFS/CEC/2002/GP_WCCI_2002/7173.PDF) (Accessed 15 January 2016).
7. The official website of NeuroShell Trader, available at: <http://www.neuroshell.com/neuroshell-information.html#f5> (Accessed 5 May 2015).
8. The official website of StrategyQuant, available at: <http://www.strategyquant.com> (Accessed 4 June 2015).
9. The official website of Genetic System Search for Technical Analysis project, available at: <http://www.gssta.com/> (Accessed 6 June 2015).
10. The official website of XLPert company, available at: <http://www.xlpert.com/software-XL-Bit.html> (Accessed 6 June 2015).
11. The official website of SAS company, available at: <http://support.sas.com/rnd/app/or/GA.html> (Accessed 7 June 2015).
12. The official website of The Mathworks company, available at: <http://www.mathworks.com/products/global-optimization/> (Accessed 7 June 2015).
13. The official website of Pyevolve project, available at: <http://pyevolve.sourceforge.net/> (Accessed 7 June 2015).
14. Vitlinsky, V. V. Skitsko, V. I. (2013), Evoliutsiine modeliuвання v protsesakh pryiniattia rishen [Evolutionary modeling in decision-making], Actual Problems of Economics, vol. 1, pp. 187—201.

Стаття надійшла до редакції 28.01.2016 р.