

УДК 005.21-043.86:330.34:005.93

**Мирон Ананійович СЕНДЗЮК**

кандидат економічних наук, професор кафедри інформаційних систем в економіці,  
ДВНЗ «Київський національний економічний університет ім. В. Гетьмана», Україна,  
e-mail: msendzuk@ukr.net, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5829-4633>

**Ірина Віталіївна НАУМЕНКО**

кандидат економічних наук, старший викладач кафедри інформаційних систем в економіці,  
ДВНЗ «Київський національний економічний університет ім. В. Гетьмана», Україна,  
e-mail: umkaira@ukr.net, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7552-1618>

**Олена Віталіївна ДЕРЖУК**

кандидат економічних наук, старший викладач кафедри інформаційних систем в економіці,  
ДВНЗ «Київський національний економічний університет ім. В. Гетьмана», Україна,  
e-mail: elena.derzhuk@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6254-292X>

**ЕВОЛЮЦІЙНА СТРАТЕГІЯ ЯК МЕТОД УДОСКОНАЛЕННЯ  
ЗБАЛАНСОВАНОЇ СИСТЕМИ ПОКАЗНИКІВ УПРАВЛІННЯ  
ПІДПРИЄМСТВОМ**

Сендзюк, М. А., Науменко, І. В., Держук, О. В. Еволюційна стратегія як метод удосконалення збалансованої системи показників управління підприємством // Вісник соціально-економічних досліджень: зб. наук. праць (ISSN 2313-4569); за ред. М. І. Зверякова (голов. ред.) та ін. Одеса: Одеський національний економічний університет. 2018. № 1 (65). С. 207–216.

*Анотація.* Стаття присвячена питанням застосування методу еволюційної стратегії для вдосконалення управління підприємством як різновиду еволюційних алгоритмів, а саме, доповнення збалансованої системи показників алгоритмом еволюційної стратегії, що значно підвищить ефективність прийняття стратегічних і оперативних рішень щодо управління підприємством. В основу теоретичних і прикладних розробок покладено дослідження щодо удосконалення збалансованої системи показників. Розроблена інноваційна комп'ютерна технологія виконання алгоритму еволюційної стратегії. Наведено результати застосування алгоритму еволюційної стратегії на підприємстві – вагоноремонтному заводі. За результатами проведених обчислень зроблений аналіз і внесені пропозиції щодо удосконалення системи управління підприємством.

*Ключові слова:* алгоритм еволюційної стратегії; збалансована система показників; генетичний алгоритм; еволюційний підхід; евристичний метод.

**Мирон Ананьевич СЕНДЗЮК**

кандидат экономических наук, профессор кафедры информационных систем в экономике,  
ГВУЗ «Киевский национальный экономический университет им. В. Гетьмана», Украина,  
e-mail: msendzuk@ukr.net, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5829-4633>

**Ирина Витальевна НАУМЕНКО**

кандидат экономических наук, старший преподаватель кафедры информационных систем в экономике, ГВУЗ «Киевский национальный экономический университет им. В. Гетьмана», Украина, e-mail: umkaira@ukr.net, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7552-1618>

**Елена Витальевна ДЕРЖУК**

кандидат экономических наук, старший преподаватель кафедры информационных систем в экономике, ГВУЗ «Киевский национальный экономический университет им. В. Гетьмана», Украина, e-mail: elena.derzhuk@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6254-292X>

**ЭВОЛЮЦИОННАЯ СТРАТЕГИЯ КАК МЕТОД  
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СБАЛАНСИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ**

Сендзюк, М. А., Науменко, І. В., Держук, А. В. Эволюционная стратегия как метод совершенствования сбалансированной системы показателей управления предприятием // Вестник социально-экономических исследований: сб. науч. трудов (ISSN 2313-4569); под ред. М. И. Зверякова (глав. ред.) и др. Одесса: Одесский национальный экономический университет. 2018. № 1 (65). С. 207–216.

**Аннотация.** Статья посвящена вопросам применения метода эволюционной стратегии по совершенствованию управления предприятием как разновидности эволюционных алгоритмов, а именно, дополнение сбалансированной системы показателей алгоритмом эволюционной стратегии значительно повысит эффективность принятия стратегических и оперативных решений. В основу теоретических и прикладных разработок положены исследования по совершенствованию сбалансированной системы показателей. Разработана инновационная компьютерная технология реализации алгоритма эволюционной стратегии. Приведены результаты применения алгоритма эволюционной стратегии на предприятии – вагоноремонтном заводе. На основе результатов выполненных расчетов проведен анализ и внесены предложения по совершенствованию системы управления предприятием.

**Ключевые слова:** алгоритм эволюционной стратегии; сбалансированная система показателей; генетический алгоритм; эволюционный подход; эвристический метод.

### **Myron SENDZUK**

PhD in Economics, Professor of Information Systems in Economics Department, SHEE «Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman», Ukraine, e-mail: msendzuk@ukr.net, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5829-4633>

### **Iryna NAUMENKO**

PhD in Economics, Senior Lecturer of Information Systems in Economics Department, SHEE «Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman», Ukraine, e-mail: umkaira@ukr.net, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7552-1618>

### **Olena DERZHUK**

PhD in Economics, Senior Lecturer of Information Systems in Economics Department, SHEE «Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman», Ukraine, e-mail: elena.derzhuk@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6254-292X>

## **EVOLUTIONARY STRATEGY AS A METHOD OF IMPROVING THE BALANCED SCORECARD OF ENTERPRISE MANAGEMENT**

Senzuk, M., Naumenko, I., Derzhuk, O. (2018). Evolutionary strategy as a method of improving the balanced scorecard of enterprise management. Ed.: M. Zveryakov (ed.-in-ch.) and others [Evoliutsiina stratehiia yak metod udoskonalennia zbalansovanoi systemy pokaznykiv upravlinnia pidpriemstvom: za red.: M. I. Zveriakova (gol. red.) ta in.], Socio-economic research bulletin; Visnik social'no-ekonomichnih doslidzen' (ISSN 2313-4569), Odessa National Economic University, Odessa, No. 1 (65), pp. 207–216.

**Abstract.** The article is devoted to the application of the method of evolutionary strategy for improving the enterprise management as a type of evolutionary algorithms, namely, the completion of a balanced scorecard by the algorithm of the evolutionary strategy, which will significantly increase the efficiency of strategic and operational decision-making in the enterprise management. Theoretical and applied developments are based on research on improving enterprises balanced scorecard. The innovative computer technology of the implementation of evolutionary strategy algorithm is developed. The results of the application of the evolution strategy algorithm at the enterprise (wagon-renovating plant) are presented. Based on the results of conducted calculations the analysis is made and the propositions for improving the enterprise management system.

**Keywords:** evolutionary strategy algorithm; balanced scorecard; genetic algorithm; evolutionary approach; heuristic method.

**JEL classification:** C220; R490

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Стрімкий розвиток економіки та значні зміни на ринку потребують впровадження нових методів і моделей, які дозволяють підприємствам швидко адаптуватися до нових ринкових умов. Тому застосування в сучасних умовах лише традиційних положень збалансованої системи показників (ЗСП) для управління

підприємством вже неефективно. Необхідно здійснювати розвиток ЗСП у напрямку інтелектуальних систем, для створення яких часто застосовують еволюційні підходи. Різновидом таких підходів є еволюційні алгоритми, які успішно використовуються для вирішення завдань функціональної оптимізації. Еволюційні алгоритми – це системи, які використовують еволюційні принципи розвитку популяції або вони успішно використовуються для завдань функціональної оптимізації і можуть легко бути описані математичною мовою [1, с.275]. Еволюційні алгоритми, що засновані на статистичному підході до дослідження ситуації та ітераційно наближують системи до потрібного стану, дають можливість здійснювати швидкий пошук ефективних рішень. Перевагою цих алгоритмів є можливість знаходити рішення, близькі до оптимальних і, на відміну від відомих евристичних методів оптимізації, характеризуються, у багатьох випадках, кращим ступенем наближення до оптимального рішення.

Для вдосконалення системи управління підприємством з використанням ЗСП запропоновано алгоритм еволюційної стратегії, що дасть можливість вирішення багатомодельних (з кількома локальними екстремумами) завдань з великою кількістю показників за рахунок поєднання елементів випадковості та детермінованості аналогічно, як це відбувається у природному середовищі (під локальними екстремумами будемо вважати досягнення стратегічних цілей за кожним із напрямків – кожної компоненти ЗСП: фінанси, внутрішні процеси, зовнішні процеси).

Наявні системи управління вагонобудівними та вагоноремонтними підприємствами спрямовані на розв'язання задач в одновимірних просторах, що не відображає повною мірою стану підприємства. Сучасні умови функціонування економіки характеризуються високим рівнем невизначеності, що впливає на збільшення ризиків і втрат під час прийняття управлінських рішень. Впровадження алгоритму еволюційної стратегії, як доповнення до ЗСП, дасть можливість враховувати фактори нестабільності економіки, що впливають на функціонування підприємств, дозволить знизити втрати за рахунок прийняття економічних управлінських рішень тощо.

Найбільшу актуальність набуває впровадження алгоритмів еволюційної стратегії для вдосконалення управління підприємствами залізничного транспорту при розробці стратегічних і оперативних рішень. Це зумовлено, з одного боку, динамічним характером розвитку вагонобудівних та вагоноремонтних підприємств, а, з іншого, – станом вітчизняної економіки.

**Аналіз досліджень і публікацій останніх років.** Проаналізувавши праці зарубіжних учених, які досліджували генетичні алгоритми, зокрема Р. Каплана, Д. Нортон, R. Poli, H. Al-Sakran, J. R. Koza, L. W. Jones, T. Back, O. Cordon, E. Herrera-Viedma, M. Luque та інших, а також вітчизняних науковців В. В. Вітлінського, Я. М. Грицишина, Д. Рутковської, М. Піліньського, В. І. Скіцька, С. О. Суботіна, А. О. Олійник та інших, приходимо до висновку про доцільність удосконалення збалансованої системи показників управління підприємствами залізничного транспорту на основі алгоритму еволюційної стратегії. Висновок базується на визначенні Д. Нортон та Р. Каплана про те, що «збалансована система показників є інструментом стратегічного управління, котрий слугує встановленню стратегічних цілей та оцінюванню ефективності діяльності з погляду реалізації стратегії за допомогою визначених ключових показників», а також впливає з того, що в опублікованих роботах не розглядаються питання про те, як визначати ключові показники для кожної галузі, які алгоритми і технологія їх розрахунку, а саме які засоби сучасних технологій потрібно використовувати, щоб забезпечити підтримку прийняття рішень щодо управління підприємством на основі динаміки змін ключових показників.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Попри значний прогрес у розробленні збалансованої системи показників недостатньо дослідженими залишаються питання переходу від традиційної системи обчислення показників до впровадження алгоритму еволюційної стратегії як різновиду генетичного алгоритму [2, с.68], до запровадження з цією метою сучасних інноваційних комп'ютерних технологій в систему управління підприємством.

**Постановка завдання.** Метою статті є дослідження сутності еволюційної стратегії та

можливості застосування результатів цього дослідження для подальшого розвитку збалансованої системи показників, а також розробка на цій основі алгоритмів розрахунків і інноваційної комп'ютерної технології удосконалення системи управління вагоноремонтним підприємством.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** В літературних джерелах [3; 4, с.712] наведені визначення поняття еволюційної стратегії, але для цього дослідження обрано таке.

Еволюційна стратегія – це евристичний метод оптимізації функцій екстремуму (підцілі за рівнями управління підприємством – вищий ( $M_{vb}M_{vb}$ ), середній ( $M_{co}^{vb}M_{co}^{vb}$ ) і нижчий ( $M_{nu}^{vbco}M_{nu}^{vbco}$ ) в розділі еволюційних алгоритмів, який засновано на адаптації та еволюції. Вона схожа з генетичним алгоритмом, але має декілька суттєвих відмінностей. Зокрема, еволюційна стратегія оперує векторами дійсних чисел. При пошуку рішення в еволюційній стратегії спочатку відбувається мутація і схрещування особин для отримання нащадків, потім виконується детермінований відбір без повторень кращих особин із загального покоління батьків і нащадків. В якості мутації часто використовується додавання нормально розподіленої випадкової величини до кожної компоненти вектора. При цьому параметри нормального розподілу самоадаптуються в процесі виконання алгоритму. Останнє стверджують автори деяких видань [5, с.30; 6, с.25; 7, с.47].

Через те, що еволюційна стратегія схожа з генетичним алгоритмом, то для розкриття її сутності необхідно навести поняття генетичного алгоритму. Генетичний алгоритм – це евристичний алгоритм пошуку, який застосовується для вирішення завдань оптимізації та моделювання функції оптимізації основної цілі шляхом випадкового підбору, комбінування і модифікації шуканих параметрів з використанням механізмів, що нагадують біологічну еволюцію.

Еволюційна теорія підтверджує, що життя на планеті виникло спочатку лише в найпростіших формах – у вигляді одноклітинних організмів. Ці форми поступово ускладнювалися, пристосовуючись до навколишнього середовища, породжуючи нові види, і через багато мільйонів років з'явилися перші тварини і люди. Кожен біологічний вид з часом вдосконалює свої якості, щоб ефективно справлятися з найважливішими задачами виживання, самозахисту, розмноження. Таким чином виникло захисне забарвлення в багатьох риб і комах, панцир у черепахи, отрута у скорпіона тощо.

Еволюція – це процес постійної оптимізації біологічних видів. Природний відбір гарантує, що найбільш пристосовані особи надають більшу кількість нащадків, а завдяки генетичному спадкуванню частина нащадків не лише збереже високу пристосованість батьків, але буде мати і деякі нові властивості. Якщо нові властивості виявляються корисними, то з великою імовірністю вони перейдуть і в наступне покоління. Таким чином, відбувається нагромадження корисних якостей і поступове підвищення пристосованості біологічного виду в цілому. Знаючи, як вирішується задача оптимізації видів у природі, можна застосувати їх для рішення різних реальних задач.

Задачі оптимізації – поширений і важливий для практики клас задач. Їх доводиться вирішувати або в побуті, розподіляючи свій час між різними справами, або на роботі, домагаючись максимальної віддачі від прикладених зусиль. Деякі задачі легко розв'язати, але є і такі, точне рішення яких знайти практично неможливо.

Уведемо позначення і приведемо кілька класичних прикладів. Зазвичай, в задачі оптимізації можна керувати кількома параметрами ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ). Метою є максимізація (чи мінімізація) певної функції,  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , що залежить від цих параметрів. Функція  $f$  називається цільовою функцією.

Наприклад, якщо потрібно максимізувати цільову функцію «дохід підприємства», тоді керованими параметрами буде кількість працівників підприємства, обсяг виробництва, витрати ресурсів, ціни на кінцеві продукти тощо. Ці параметри пов'язані між собою – наприклад, при зменшенні кількості співробітників швидше за все зменшиться й обсяг виробництва.

Генетичний алгоритм є комбінацією переборного та градієнтного методів. Механізми кросоверу (схрещування) та мутації реалізують переборну частину, а відбір кращих рішень – градієнтний спуск. Тобто, якщо на деякій множині задано складну функцію від кількох змінних, тоді генетичний алгоритм є програмою, яка за визначений час знаходить точку, де

значення функції знаходиться достатньо близько до максимально можливого значення, це буде одним із кращих рішень.

Генетичні алгоритми переважно призначені для пошуку рішень в багатовимірних просторах пошуку [8, с.187].

Завдання цього дослідження полягає в тому, що необхідно удосконалити систему управління за допомогою алгоритму еволюційної стратегії, а саме знайти такі показники за компонентами ЗСП, які в співвідношенні дадуть досягнення стратегічної мети підприємства. Визначимо головну мету (SM) підприємства (наприклад, підвищення прибутку за рахунок збільшення обсягів продажу продукції). До визначення головної мети підприємства залучають експертів. Відтак головна мета поділяється на підцілі за рівнями управління підприємством – вищий ( $M_{vb} M_{vb}$ ), середній ( $M_{co}^{vb} M_{co}^{vb}$ ) і нижчий ( $M_{nu}^{vbco} M_{nu}^{vbco}$ ). Мету кожного рівня управління характеризують певними показниками, які в класичному варіанті поділені на чотири компоненти (фінанси  $x_{kr} x_{kr}$ , внутрішні процеси  $y_{kl} y_{kl}$ , зовнішні процеси  $z_{kp} z_{kp}$ , персонал  $s_{kb} s_{kb}$ ), але для підприємств можуть бути винятки (наприклад, для вагонозбирального цеху вплив зовнішніх факторів незначний, тому вилучаємо компоненту «Зовнішні процеси»).

Вхідними даними для розв'язування задачі оптимізації прибутку є масив показників які визначають витрати і показники коштів, в межах яких потрібно розташувати витрати. Витрати, які значно перевищують бюджет автоматично підлягають виключенню з масиву. Але основним завданням в управлінні підприємством на основі ЗСП є досягнення стратегічної мети. Тому для знаходження оптимального набору показників для досягнення стратегічної мети підприємства (SM) на основі еволюційної стратегії було розглянуто критерії вибору показників за наступними компонентами.

Показники компоненти «Фінанси»:  $x_3$  – валовий прибуток, тис. грн;  $x_4$  – витрати на оплату праці, тис. грн.;  $x_5$  – амортизація, тис. грн.;  $x_6$  – витрати на оплату товарів і послуг, тис. грн.;  $x_7$  – додана вартість, тис. грн.;  $x_8$  – капітальні витрати, тис. грн.;  $x_9$  – середня чисельність робітників, од.;  $x_{10}$  – сума коштів із зовнішніх джерел, тис. грн.;  $x_{20}$  – собівартість, тис. грн.;  $x_{21}$  – авансований капітал (активи мінус короткострокові зобов'язання), тис. грн.

Показники за компонентою «Внутрішні процеси»:  $y_1$  – продуктивність праці, грн./люд.;  $y_4$  – ефективність;  $y_8$  – вартість робочої сили/виручка;  $y_{10}$  – капітальні витрати на одного працівника, грн./прац.;  $y_{18}$  – коефіцієнт змінності робітників;  $y_{12}$  – частка персоналу відповідної кваліфікації, %.

Показники за компонентою «Зовнішні процеси»:  $z_1$  – рівень задоволеності клієнтів, балів;  $z_2$  – частка ринку, %;  $z_4$  – питома кількість рекламаций;  $z_6$  – кількість постійних клієнтів, %.

Ці показники є базовими для розв'язання задачі оптимізації за допомогою алгоритму еволюційної стратегії. Наприклад, такий показник, як «валовий». Залежно від різновидів задач оптимізації, користувачі можуть додавати інші показники, які можуть істотно вплинути на результат виконання поставленої задачі.

До розглянутих показників можуть додаватися й інші, які будуть давати можливість досягнення підвищення прибутку (SM). Для роботи генетичного алгоритму створюється початкова популяція. Популяція – це набір генів. У нашому випадку ген – це набір показників для досягнення SM.

Наприклад: (a,b,c) – це гени, де a – показники за компонентою «Фінанси»; b – показники за компонентою «Внутрішні процеси»; c – показники за компонентою «Зовнішні процеси».

Початкова популяція може створюватись як з усіх можливих генів, так і мати певні обмеження. Тобто, є можливість існування тільки певної кількості генів. Після утворення початкового покоління кожен ген оцінюється на можливість продовження роду, тобто обчислюється функція корисності. У нашому випадку необхідно оцінити, за допомогою якого гена в задачі оптимізації відбудеться досягнення SM. Оцінивши результати – відбираємо приблизно 30%, які показали найкращий результат. Із збережених генів (проміжне покоління) за допомогою генетичних операцій – схрещення – утворюємо нове покоління і оцінюємо його спроможність щодо подальшого існування.

Для задач оптимізації пошук у досконалих генів продовжується доти, доки не досягнемо SM (рис. 1).

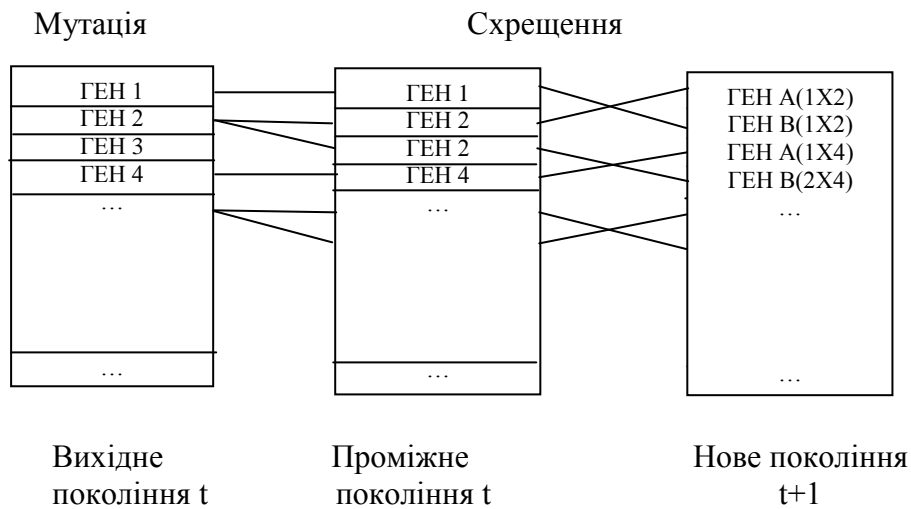


Рис. 1. Схема пошуку генів для нової популяції (розроблено авторами на основі [4])

Вхідними даними для роботи алгоритму еволюційної стратегії є масиви даних за компонентами ЗСП. Наведемо алгоритм виконання еволюційної стратегії для досягнення стратегічної цілі:

1. Початок роботи алгоритму.
2. Отримання вхідних даних. Отримуються масиви показників за компонентами «Фінанси» і «Внутрішні процеси», які необхідно узгодити між собою (табл. 1). Дані передаються із ЗСП.

Таблиця 1

Матриця коефіцієнтів значення чинників (розроблено авторами)

П	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$y_1$	$y_3$	$y_{14}$	$y_{16}$	$y_{18}$
Ч 1	0,169	0,18	0,08	0,115	0,024	-0,004	-0,79	-0,01	0,18	-0,01	0,17	-0,17	-0,057
Ч 2	-0,01	-0,48	0,1	0,009	-0,2	0,199	0,19	0,069	-0,039	0,2	-0,013	0,006	-0,17

Позначення: П – показник; Ч 1 – чинник 1; Ч 2 – чинник 2.

де  $x_3$  – валовий прибуток, тис. грн.;  $x_4$  – витрати на оплату праці, тис. грн.;  $x_5$  – амортизація, тис. грн.;  $x_6$  – витрати на оплату товарів і послуг, тис. грн.;  $x_7$  – додана вартість, тис. грн.;  $x_8$  – капітальні витрати, тис. грн.;  $x_9$  – середня чисельність робітників, од.;  $x_{10}$  – сума коштів із зовнішніх джерел, тис. грн.;  $y_1$  – продуктивність, грн./люд.;  $y_3$  – результативність;  $y_{14}$  – фондівіддача, тис. грн.;  $y_{16}$  – матеріалоємність продукції;  $y_{18}$  – коефіцієнт змінності робітників.

3. Розраховуємо, які показники із компоненти «Внутрішні процеси» не перевищують показники компоненти «Фінанси». Аналізуємо і складаємо список тих процесів, що перевищують фінансові показники і вилучаємо їх.
4. Для кожного гена проводимо детермінований відбір без повторень кращих особин із загального покоління батьків і нащадків.
5. Розраховуємо витрати і вибираємо  $m\%$  найкращих результатів. Для кожного можливого співвідношення показників за кожною парою із компонент («Фінанси» та «Внутрішні процеси»), «Фінанси» та «Зовнішні процеси», «Внутрішні процеси» та «Зовнішні процеси»). Після цього із отриманих результатів вибираємо  $m\%$  результатів.
6. Розраховуємо показники, які ввійдуть до ЗСП (за допомогою факторного аналізу).

7. Схрещуємо найкращі результати і отримуємо нові можливі геноми. За допомогою генетичних операторів (кросинговеру, мутації та інших) схрещуємо отримані покоління для можливого зародження досконалішого гена. Надалі для виконання генетичних операцій не використовуємо ті критерії, які дали негативні результати. Отримуємо нові можливі гени (нову популяцію). Переходимо до кроку 4. Завжди чи в деяких випадках.
8. Виведення результатів.
9. Кінець роботи алгоритму. Алгоритм реалізовано засобами Matlab, з використанням модуля Genetic Algorithm Tool. Цей варіант реалізації вибрано як найкращий тому, що він наглядно демонструє роботу алгоритму. Далі покроково виконаємо розрахунок компоненти «Фінанси».

У полі Fitness function вказуємо функцію, яку будемо оптимізувати. У даному випадку – це функція компоненти «Фінанси», у вигляді @fitnessfun, де fitnessfun.m – назва M-файлу. У цьому файлі й потрібно описати оптимізаційну функцію (це можливо виконати через меню File->New->M-File). Функція має вигляд:

$$\text{function } z = \text{my fun}(x) \text{function } z = \text{my fun}(x) \quad (1)$$

$$F_1 = 0,169 \times x(3) + 0,18 \times x(4) + 0,08 \times x(5) + 0,115 \times x(6) + 0,024 \times x(7) - 0,004 \times x(8) - 0,79 \times x(9) - 0,01 \times x(10)$$

Далі, якщо потрібно, можна задати обмеження в панелі Constraints або функцію обмеження. Але в цьому прикладі не вимагається встановлення обмежень, тому всі поля панелі Constraints залишимо не заповненими.

Панель Run Solver містить елементи управління (Start, Pause і Stop для початку, короткочасного та повного зупинення алгоритму). Також вона містить поля Status and results, в які виводяться поточні результати роботи генетичного алгоритму, і Final point, в якому виводиться значення кінцевої точки роботи алгоритму – найкращої величини функції, що оптимізується (тобто, пошукове значення).

У правій частині основного вікна утиліти Gatool знаходиться панель Options. Вона дозволяє встановлювати різні налаштування для роботи генетичних алгоритмів. При натисканні мишею по кнопці [+], які знаходяться навпроти назви кожного з параметрів, що налаштовуються в панелі Options, з'являються випадючі списки, що містять поля для введення і зміни відповідних параметрів генетичного алгоритму.

Основними параметрами, що налаштовуються в Gatool, є:

- популяція (вкладка Population);
- масштабування (вкладка Fitness Scaling);
- оператор відбору (вкладка Selection);
- оператор репродукції (вкладка Reproduction);
- оператор мутації (вкладка Mutation);
- оператор схрещування (вкладка Crossover);
- перенесення особин між популяціями (вкладка Migration);
- спеціальні параметри алгоритму (вкладка Algorithm settings);
- задання гібридної функції (вкладка Hybrid function);
- задання критерія зупинки алгоритму (вкладка Stopping criteria);
- виведення різної додаткової інформації по ходу роботи генетичного алгоритму (вкладка Plot Functions);
- виведення результатів роботи алгоритму у вигляді нової функції (вкладка Output function);
- задання набору інформації для виводу в командне вікно (вкладка Display to command window);
- засіб обчислення значень оптимізованої і обмежуючої функцій (вкладка User function evaluation).

У вкладці налаштування популяцій користувач має можливість вибрати тип математичних об'єктів, до яких відноситимуться особини всіх популяцій (подвійний вектор,

бітовий рядок або призначений для користувача тип). При цьому варто враховувати, що використання бітового рядка і призначених для користувача типів накладають обмеження на перелік допустимих операторів створення, мутації і схрещування особин. Так, наприклад, при виборі в якості форми представлення особин бітового рядка для оператора схрещування не можна використовувати гібридну функцію або нелінійну обмежувальну функцію.

Також вкладка популяції дозволяє налаштувати розмір популяції (із скількох особин складатиметься кожне покоління) і яким чином створюватиметься початкове покоління (Uniform – якщо відсутні обмеження, що накладаються, інакше – Feasible population). Крім того, у цій вкладці є можливість задавати в ручному режимі початкове покоління (використовуючи пункт Initial population) або його частину, початковий рейтинг особин (пункт Initial scores), а також ввести обмежувальний числовий діапазон, якому повинні належати особини початкової популяції (Initial range).

У вкладці масштабування (Fitness Scaling) користувач має можливість вказати функцію масштабування, яка конвертує значення, що досягаються функцією, яка оптимізується в значення, які є в межах допустимих для оператора відбору. При виборі в якості функції масштабування параметра Rank, масштабування приводитиметься до рейтингу, тобто особинам привласнюється рейтинговий номер (для кращої особини – одиниця, для наступної – двійка, і т.д.). Пропорційне масштабування (Proportional) задає вірогідність пропорційно заданому числовому ряду для особин. При виборі опції Top найбільше рейтингове значення привласнюється відразу декільком найбільш видатним особинам (їх число вказується у вигляді параметра). При відборі масштабування типу Shift linear є можливість вказати максимальну вірогідність найкращої особини.

Вкладка Selection дозволяє вибрати оператори відбору батьківських особин на основі даних з функції масштабування. Як доступні для вибору варіанти оператора відбору пропонуються наступні:

- Tournament – випадково вибирається вказане число особин, серед них на конкурсній основі вибираються кращі;
- Roulette – імітується рулетка, в якій розмір кожного сегменту встановлюється відповідно до його вірогідності;
- Uniform – батьки вибираються випадковим чином згідно із заданим розподілом і з урахуванням кількості батьківських особин та їх вірогідності;
- Stochastic uniform – будується лінія, в якій кожному батьку ставиться у відповідність її частина певного розміру (залежно від вірогідності батька), потім алгоритм пробігає над лінією кроками однакової довжини і вибирає батьків залежно від того, на яку частину лінії потрапив крок.

Вкладка Reproduction уточнює яким чином відбувається створення нових особин. Пункт Elite count дозволяє вказати число особин, які гарантовано перейдуть в наступне покоління. Пункт Crossover fraction вказує долю особин, які створюються шляхом схрещування. Остання доля створюється шляхом мутації.

У вкладці оператора мутації вибирається його тип. Доступні наступні варіанти:

- Gaussian – додає невелике випадкове число (згідно з розподілом Гауса) до всіх компонентів кожного вектора-особини;
- Uniform – вибираються випадковим чином компоненти векторів і замість них записуються випадкові числа з допустимого діапазону;
- Adaptive feasible – генерує набір напрямів залежно від останніх найбільш вдалих і невдалих поколінь і з урахуванням обмежень, що накладаються, просувається уздовж всіх напрямів на різну довжину;
- Custom – дозволяє задати власну функцію.

Вкладка Crossover дозволяє вибрати тип оператора схрещування (одноточкове, двоточкове, евристичне, арифметичне або розсіяне (Scattered), при якому генерується випадковий двійковий вектор відповідності батьків).



Далі аналогічним чином переміщуємося по потрібних вкладках та ставимо необхідні для виконання функції чи обмеження.

Вкладка виведення результатів у вигляді нової функції (Output function) дозволяє включити виведення історії роботи алгоритму в окремому вікні з певним інтервалом нащадків (прапорець History to new window і поле Interval відповідно), а також дозволяє задавати і виводити довільну вихідну функцію, яку задано в полі Custom function.

Вкладка User function evaluation описує, в якому порядку виконується обчислення значень функції, що оптимізується і обмежувальної функції (окремо, паралельно або одночасно).

Після виконання потрібних операцій отримуємо графік (рис. 2):

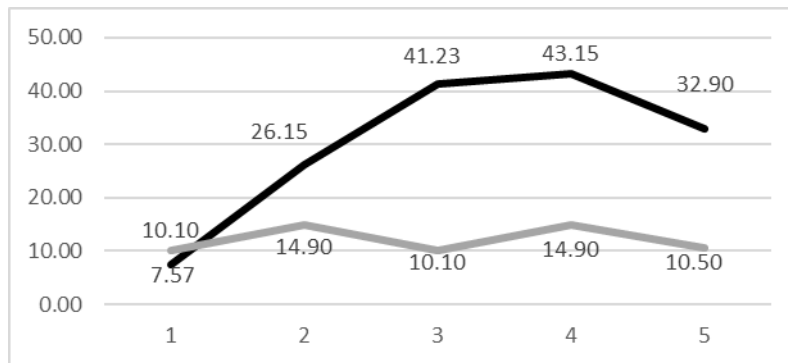


Рис. 2. Значення компоненти «Фінанси» (розроблено авторами)

За даними рис. 2 можна зробити висновок про те, що до застосування еволюційної стратегії показники компоненти «Фінанси» N-го вагонобудівельного і вагоноремонтного підприємства були такі: 10,10; 14,9; 10,1; 14,9; 10,5 (на рис. зображені сірою лінією) та після застосування: 7,57; 26,15; 41,23; 43,15; 32,9 (на рис. зображені чорною лінією). Отримані результати свідчать про те, що всі показники, окрім першого, покращилися.

Аналогічними розрахунками визначимо показники для інших компонент ЗСП (внутрішні процеси, зовнішні процеси) та для загальної цілі (SM) підприємства.

У результаті проведених досліджень з метою вдосконалення системи управління вагонобудівельними і вагоноремонтними підприємствами, управління якими здійснюється на основі ЗСП, запропоновано алгоритм еволюційної стратегії, за рахунок чого буде забезпечено максимальну віддачу від виробничих ресурсів в процесі досягнення підприємством поставлених цілей і з урахуванням можливих змін, викликаних нестабільністю економіки в країні.

**Висновки і перспективи подальших розробок.** У статті запропоновано застосування алгоритму еволюційної стратегії як різновиду генетичного алгоритму для вдосконалення управління та підтримки прийняття рішень на вагонобудівельних і вагоноремонтних підприємствах. Описано поняття генетичного алгоритму, вказано в чому полягає відмінність алгоритму еволюційної стратегії, а також описано покрокове виконання даного алгоритму. Впровадження алгоритму еволюційної стратегії дозволить визначити адекватну оцінку стану підприємства і приймати ефективні рішення на основі співвідношення показників за компонентами ЗСП, що може бути використана будь-яким підприємством або його контрагентами для скорочення часу та зменшення витрат на прийняття управлінських рішень.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на розроблення алгоритму еволюційної стратегії для інших компонент ЗСП та основної стратегії підприємства, що дасть можливість вдосконалити систему управління та підтримки прийняття рішень на вагонобудівельних і вагоноремонтних підприємствах.

**Література**

1. Грицишин Я. М., Корпильов Д. В., Кривий Р. З., Свірідова Т.В., Ткаченко С. П. Генетичні алгоритми для розв'язання задач розміщення // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». 2009. № 638. С. 271–276.
2. Poli R., Langdon W. B., McPhee N. F. A field guide to genetic programming. Lulu.com. March 2008. URL: [http://digitalcommons.morris.umn.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1001&context=cs\\_facpubs](http://digitalcommons.morris.umn.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1001&context=cs_facpubs) (дата звернення: 11.01.2018).
3. Back T. *Evolutionary algorithms in theory and practice: evolution strategies, evolutionary programming, genetic algorithms*. New York, Oxford University Press, 1996. 319 p.
4. Cordon O., Herrera-Viedma E., Luque M. Evolutionary learning of boolean queries by multiobjective genetic programming // *Parallel Problem Solving from Nature – PPSN VII, LNCS, Granada, Spain*. 2002. № 2439. Pp. 710–719.
5. Paniagua R. S., Flores Romero J. J., Coello C. A. A genetic representation for dynamic system qualitative models on genetic programming: a gene expression programming approach // *Proceedings of 6<sup>th</sup> Mexican international conference on artificial intelligence, MICAI, Aguascalientes, Mexico*. 2007. № 4827. Pp. 30–40.
6. Al-Sakran H., Koza J. R., Jones L. W. Automated re-invention of a previously patented optical lens system using genetic programming // *Proceedings of 8<sup>th</sup> European conference on genetic programming, Lausanne, Switzerland*. 2005. № 3447. Pp. 25–37.
7. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Пер. з пол. И. Д. Рудинского. М.: Горячая линия-Телеком, 2006. 452 с.
8. Вітлінський В. В., Скіцько В. І. Еволюційне моделювання в процесах прийняття рішень // *Актуальні проблеми економіки*. 2013. № 1. С. 187–201.

**References**

1. Grytysyshyn, J. M., Korpyliov, D. V., Kryvyi, R. Z., Sviridova, T. V., Tkachenko, S. P. (2009). Genetic algorithms for solving placement problems [Genetychni alhorytmy dlia rozv'iazannia zadach rozmishchennia], *Visnyk Natsionalnoho Universytetu «Lvivska Politekhnikha»*, No. 638, s. 271–276 [in Ukrainian]
2. Poli, R., Langdon, W. B., McPhee, N. F. (2008). A field guide to genetic programming, available at: [http://digitalcommons.morris.umn.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1001&context=cs\\_facpubs](http://digitalcommons.morris.umn.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1001&context=cs_facpubs).
3. Back, T. (1996). *Evolutionary algorithms in theory and practice: evolution strategies, evolutionary programming, genetic algorithms*, Oxford University Press, New York, 319 p.
4. Cordon, O., Herrera-Viedma, E., Luque, M. (2002). Evolutionary learning of boolean queries by multiobjective genetic programming, *Parallel Problem Solving from Nature – PPSN VII, LNCS, Granada, Spain*, No. 2439, pp. 710–719.
5. Paniagua, R. S., Flores Romero, J. J., Coello C. A. (2007). A genetic representation for dynamic system qualitative models on genetic programming: a gene expression programming approach, *Proceedings of 6<sup>th</sup> Mexican international conference on artificial intelligence, MICAI, Aguascalientes, Mexico*, No. 4827, pp. 30–40.
6. Al-Sakran, H., Koza, J. R., Jones, L. W. (2005). Automated re-invention of a previously patented optical lens system using genetic programming, *Proceedings of 8th European conference on genetic programming, Lausanne, Switzerland*, No. 3447, pp. 25–37.
7. Rutkovskaya, D., Pilinskiy, M., Rutkovskiy, L. (2006). Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems. *Trans. from Pol. [Neyronnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy: Translation by I. D. Rudinskyi]*, *Goryachaya liniya-Telekom, Moskva*, 452 s. [in Russian]
8. Vitlinskii, V. V., Skitsko, V. I. (2013). Evolutionary modeling in decision-making processes. [Evoliutsiine modeliuвання v protsesakh pryiniattia rishen], *Aktualni problemy ekonomiky*, No. 1, s. 187–201 [in Ukrainian]

Стаття надійшла до редакції 06.02.2018.