

В.В. Вітлінський (Київський національний економічний
університет імені Вадима Гетьмана, Україна)

В.І. Скілько (Київський національний економічний
університет імені Вадима Гетьмана, Україна)

ЕВОЛЮЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ПРОЦЕСАХ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

У статті досліджено проблему застосування інструментарію еволюційного моделювання, зокрема, генетичного алгоритму для вирішення економічних оптимізаційних задач. Розглянуто використання генетичного алгоритму на прикладі вибору товару, який є кращим за певними ознаками.

Ключові слова: прийняття рішення, оптимізаційна задача, еволюційне моделювання, генетичний алгоритм, вибір товару, Інтернет-магазин.

Форм. 4. Рис. 1. Літ. 14.

В.В. Витлинский (Киевский национальный экономический
университет имени Вадима Гетьмана, Украина)

В.И. Скицко (Киевский национальный экономический
университет имени Вадима Гетьмана, Украина)

ЭВОЛЮЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОЦЕССАХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

В статье исследуется проблема применения инструментария эволюционного моделирования, в частности, генетического алгоритма для решения экономических оптимизационных задач. Рассмотрено использование генетического алгоритма на примере выбора товара, который является лучшим по определенным признакам.

Ключевые слова: принятие решения, оптимизационная задача, эволюционное моделирование, генетический алгоритм, выбор товара, Интернет-магазин.

V.V. Vitlinskyi (Kyiv National Economic University of Vadym Hetman, Ukraine)

V.I. Skitsko (Kyiv National Economic University of Vadym Hetman, Ukraine)

EVOLUTIONARY MODELLING OF DECISION-MAKING PROCESSES

The article studies the problem of applying the evolutionary modelling toolkit, in particular, the genetic algorithm for solving the economic optimization tasks. Application of genetic algorithm is considered taking the example of choosing a product which is the best by its certain features.

Keywords: decision-making; optimization problem; evolutionary modelling; genetic algorithm; product selection; online store.

Постановка проблеми. На практиці в економіці виникають різні проблеми, які потребують прийняття виважених ефективних рішень. Процес прийняття таких рішень може бути доволі різноманітним. Але в будь-якому випадку на сьогодні прийняти виважене ґрунтовне рішення складно без використання економіко-математичних моделей і методів. Для того, щоб використати адекватну модель, необхідно насамперед сформулювати проблему, з'ясувати, до якого класу задач вона відноситься і які економіко-математичні моделі й методи доречно застосовувати для їх вирішення. Крім того, існують різні спеціальні економіко-математичні моделі й методи, за допомогою яких ефективно вирішуються конкретні прикладні економічні проблеми (задачі).

Традиційно вибір найкращого варіанта дій (прийняття рішення) здійснюється за допомогою числової функції, критерію оптимальності. Найприйнят-

нішим вважається те рішення, яке залежно від умов ситуації забезпечує максимум (або мінімум) обраного критерію. На сьогодні існує ціла низка методів і засобів, що допомагають особі, яка приймає рішення (ОПР), прийняти виважене рішення [12]: системний аналіз, теорія масового обслуговування, лінійне і динамічне програмування, теорія управління запасами, мережеве моделювання, експертне оцінювання, вивчення й узагальнення досвіду, метод індукції тощо. Використання тих чи інших методів і засобів залежить передусім від професійної компетентності, досвіду роботи, соціально-психологічних особливостей ОПР та умов, за яких відбувається прийняття рішень.

Коли використовується відповідна економіко-математична модель, то висувається низка вимог до вхідних параметрів і вихідних величин, накладаються деякі умови, в яких випадках можна використовувати цю модель тощо. В багатьох випадках зміна проблеми потребує суттєвих змін моделі, інколи моделі побудовані таким чином, що змінити щось практично не можливо і тому модель застосовувати не доцільно.

Крім того, складність прийняття рішень у сучасних ринкових умовах полягає насамперед у тому, що вони приймаються в умовах невизначеності, конфліктності та зумовленого ними ризику. Крім того, ОПР повинна враховувати різну інформацію (як кількісну, так і якісну).

У своїй роботі ОПР використовує різні засоби, які допомагають їй прийняти рішення, зокрема, системи підтримки прийняття рішень (СППР) [10]. Для аналізу й вироблення пропозицій у СППР використовуються різні методи: інформаційний пошук, інтелектуальний аналіз даних, пошук знань у базах даних, імітаційне моделювання, еволюційні обчислення та генетичні алгоритми, нейронні мережі, ситуаційний аналіз тощо. Деякі з цих методів були розроблені при дослідженні штучного інтелекту.

У багатьох випадках рішення, прийняте ОПР, не обов'язково повинно бути абсолютно найкращим, достатньо, щоб воно відповідало висунутим заздалегідь умовам. У цьому випадку, обираючи найкраще за допомогою традиційних методів, можна витратити багато часу на його пошук, а час у ринковій економіці – це гроші. Отже, виникає необхідність в ефективному інструментарії, за допомогою якого можна було б здійснити цей вибір.

Таким інструментарієм можуть бути методи й моделі еволюційного моделювання, зокрема генетичні алгоритми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Різними теоретичними й практичними аспектами проблеми використання інструментарію генетичних алгоритмів для розв'язання різних задач займалися такі вітчизняні й зарубіжні науковці та фахівці: Р.В. Білоус [6], У. Дзелендзяк [8], В.І. Дубровін [3], С. Люк [14], М. Пілинський [7], С.Д. Погорілий [6], Д. Рутковська [7], Л. Рутковський [7], В. Самотний [8], С.О. Суботін [11], Д. Холланд [13], Є.М. Федорченко [3] та інші.

Багатогранність, важливість та актуальність даної проблематики містить ще низку недостатньо досліджених моментів. Зокрема, мало уваги приділяється питанням застосування генетичних алгоритмів для вирішення економічних задач.

Мета дослідження полягає в аналізі інструментарію генетичних алгоритмів, дослідженні можливості його застосування у процесах прийняття економічних рішень.

Основні результати дослідження. Низку проблем, які виникають у сфері економіки на будь-якому рівні, можна звести до задач оптимізації. Різноманітність цих проблем породжує й різноманітність задач оптимізації. А наявність значних труднощів і специфічних особливостей у вирішенні таких задач породило велику кількість відповідних методів. Однією з підгруп методів оптимізації є евристичні алгоритми, які можна класифікувати за низкою ознак, наприклад, так, як це показано на рис. 1.

Генетичні алгоритми – це новий напрямок в алгоритміці, вони здатні не тільки скорочувати перебір у складних завданнях, а й легко адаптуватися.

Людиною, яка «придумала» генетичний алгоритм, вважають Дж. Холланда, книга якого «Адаптація в природних і штучних системах» [13] є найвідомішою в цій сфері досліджень.

Генетичний алгоритм застосовується для вирішення оптимізаційних задач за допомогою методу еволюції, тобто шляхом відбору з множини потенційно можливих рішень у певному сенсі кращих. У типовій задачі оптимізації ідентифікують набір змінних, які впливають на процес, і будується відповідна формула або/та алгоритм, які використовують ці змінні для побудови моделі даного процесу. Разом з тим, задача полягає в тому, щоб знайти такі значення змінних, які певним чином оптимізують розв'язок задачі (проблеми). Зокрема, у випадку, коли моделлю є формула, то зазвичай шукають максимум або мінімум функції, яку дана формула описує.

На сьогодні, генетичні алгоритми застосовуються при вирішенні проблем у таких галузях: екстремальні задачі (знаходження точок мінімуму та максимуму), задачі оптимального розподілу інвестиційних коштів, задачі про найкоротший шлях (задача комівояжера), задачі компоновки, складання розкладів, апроксимація функцій, відбір (фільтрація) вхідних даних, налаштування штучних нейронних мереж, біоінформатика, ігрові стратегії, нелінійна фільтрація тощо.

Генетичний алгоритм є більш ефективним інструментом пошуку порівняно з класичними методами оптимізації в тих випадках, коли область допустимих рішень може бути достатньо великою і негладкою (можуть існувати точки розриву, тобто бути дискретною); може існувати декілька локальних оптимумів; задача не вимагає знаходження надточного глобального оптимуму. На відміну від класичного підходу до багатокритеріальної оптимізації, генетичні алгоритми належать до класу багатоточкових пошукових методів, і тому задача оптимізації за їх допомогою може бути вирішена навіть у випадку полімодального характеру цільової функції, тобто у випадку, коли цільова функція має декілька максимумів (або мінімумів).

Генетичний алгоритм є своєрідною комбінацією методу повного перебору й градієнтного методу. Варто зауважити, що метод повного перебору полягає тому, що для пошуку оптимального рішення (максимуму чи мінімуму цільової функції) потрібно послідовно обчислити значення функції у всіх точках області допустимих рішень й обрати максимальне чи мінімальне. Згідно з гра-

дієнтним методом (або методом градієнтного спуску), обираються деякі випадкові значення параметрів задачі, а потім ці значення поступово змінюють, досягаючи найбільшої швидкості зростання цільової функції. Градієнтний метод, на відміну від методу повного перебору, працює набагато швидше, але не гарантує оптимальності знайденого рішення. Слід зазначити, що алгоритм може привести до знаходження локального максимуму.

У генетичному алгоритмі механізм схрещування та мутації певною мірою реалізує частину методу перебору, а відбір кращого рішення – градієнтний спуск. Така комбінація дозволяє забезпечити ефективність вирішення оптимізаційних задач будь-якого типу.

Хоча модель еволюційного розвитку, що застосовується в генетичних алгоритмах, сильно спрощена порівняно зі своїм природним аналогом, проте генетичні алгоритми є досить потужним засобом і можуть з успіхом застосовуватися для широкого класу прикладних задач, включаючи ті, які важко, а іноді й зовсім неможливо вирішити іншими методами. Однак генетичний алгоритм, як й інші методи еволюційних обчислень, не гарантує виявлення глобального оптимуму за прийнятний час. Генетичні алгоритми не гарантують і того, що буде знайдено глобальний оптимум, але вони ефективні для пошуку наближеного оптимуму за досить короткий час. Тобто якщо на певній множині задана певна функція кількох змінних, тоді за допомогою генетичного алгоритму за визначений термін часу можна знайти точку (точки), де значення функції знаходиться достатньо близько до максимально можливого. Обираючи прийнятний час проведення обчислень, отримуємо одне з кращих рішень, які можна отримати за цей відведений для розрахунків час.

У випадку, коли задача може бути вирішена спеціалізованими методами, майже завжди такі методи будуть ефективнішими за генетичний алгоритм і в швидкодії, і в точності знайдених оптимальних значень керованих змінних. Головною ж перевагою використання генетичних алгоритмів є можливість їх застосування при вирішенні таких задач, складність яких настільки велика, що не існує жодних спеціалізованих чи інших загальних методів для їх розв'язку. Навіть там, де добре працюють існуючі методи та підходи, можна досягти поліпшення результату шляхом поєднанням їх з генетичними алгоритмами.

На відміну від традиційних методів оптимізації, генетичні алгоритми обробляють не значення параметрів самої задачі, а їх закодовану форму; здійснюють пошук рішення, виходячи не з єдиної точки, а з їх певної підмножини; використовують тільки цільову функцію, а не її похідні або іншу додаткову інформацію; застосовують ймовірнісні, а не детерміновані правила вибору.

До переваг застосування генетичних алгоритмів можна віднести:

- необов'язковість специфічних знань про вирішувану задачу;
- концептуальну простоту та прозорість реалізації;
- можливість розпаралелювання (одночасного використання декількох точок простору допустимих рішень);
- простоту кодування вхідної і вихідної інформації;
- можливість застосування до великого спектра задач без внесення серйозних змін у внутрішню структуру методу;

- можливість адаптивності параметрів генетичного пошуку до особливостей вирішуваної задачі;
- меншу ймовірність попадання і зациклення в локальному оптимумі, що досягається за рахунок використання популяційного підходу;
- можливість застосування в методі інших ефективних пошукових процедур.

До недоліків генетичного алгоритму відносять:

- високу ітеративність;
- сильну залежність ефективності генетичного алгоритму від його параметрів (обсяг популяції, початкова точка пошуку, ймовірнісні характеристики генетичних операторів тощо);
- епістазис — взаємодія генів (змінних), за якою активність одного гена знаходиться під впливом варіацій інших генів. Існування цього явища призводить до появи низькоприсосованих нащадків. Вирішення проблеми епістазису полягає в тому, щоб зберігати в хромосомі взаємозалежні гени, розташовуючи їх близько один до одного. При групуванні залежних генів істотно знижується ймовірність того, що вони будуть зруйновані при застосуванні схрещування;

- передчасна збіжність, яка у більшості випадків пов'язана з недостатньою різноманітністю особин у популяції. Найпоширенішою причиною передчасної збіжності є недостатній розмір популяції. Таким чином, вирішенням такої проблеми може бути збільшення кількості особин у популяції.

Ефективність використання генетичних алгоритмів суттєво залежить від того, який метод кодування обрано, які саме і яким чином оператори використовуються, яким чином налаштовані параметри алгоритму тощо. В науковій літературі наводять такі рекомендації щодо вибору методу оптимізації при вирішенні практичних задач [7; 11; 14]:

- якщо простір пошуку є дискретним і невеликим за обсягом, то можна скористатися методом повного перебору. Генетичний алгоритм, на відміну від методу повного перебору, може з більшою ймовірністю зійтися до локального оптимуму, а не до глобального. Проте генетичний алгоритм швидше знайде субоптимальне рішення, що знаходиться недалеко від дійсного оптимуму;

- якщо цільова функція в пошуковому просторі є гладкою і унімодальною, то будь-який градієнтний метод буде ефективнішим, ніж генетичний пошук;

- якщо про простір пошуку відома деяка додаткова інформація, то методи оптимізації, що використовують апріорні відомості про пошуковий простір, часто перевершують будь-який універсальний метод, у тому числі й генетичний алгоритм;

- при достатньо складному рельєфі цільової функції методи оптимізації, що працюють з єдиним рішенням на кожній ітерації (наприклад, простий метод спуску), можуть зациклитися в локальному оптимумі. Генетичний алгоритм працює з набором із декількох рішень, тому він має менше шансів зійтися до локального оптимуму і надійно функціонує на багатоекстремальних поверхнях.

Отже, генетичний алгоритм — це еволюційний алгоритм пошуку, що використовується насамперед для вирішення задач оптимізації і моделювання

шляхом послідовного підбору, комбінування і варіації шуканих параметрів з використанням механізмів, що нагадують біологічну еволюцію.

Генетичний алгоритм використовує словник, запозичений із генетики. Також використовуються відповідні цим термінам визначення з технічного лексикону. Проте термінологія генетичних алгоритмів ще не до кінця є сталою, тому в різних наукових джерелах можна зустріти різну інтерпретацію однакових понять. Узагальнивши можливі варіанти понять, можна запропонувати таку термінологію:

1. *Ген* (інші назви – ознака, буква, детектор, знак) – реально існуюча, незалежна одиниця спадковості, що комбінується й розщеплюється при схрещуваннях, це елемент генотипу, зокрема, хромосоми.

2. *Хромосома* (інші назви – бітовий рядок 0101...101, ланцюг, кодова послідовність) – це впорядкована послідовність генів. З точки зору генетики, хромосома є структурним елементом клітинного ядра біологічних організмів, носій генів у клітинному ядрі особини.

3. *Локус* (інша назва – позиція) вказує місце розташування певного гена в хромосомі. Множина позицій генів – це локи. Схематично хромосому можна подати як прямолінійний відрізок, а локуси – як послідовні ділянки, на які цей відрізок розбитий.

4. *Алель* – це значення конкретного гена.

5. *Генотип* (інша назва – структура) – це набір хромосом певної особини. Відповідно, особинами популяції можуть бути генотипи або одиничні хромосоми.

6. *Фенотип* – це набір значень, що відповідають даному генотипу, тобто декодована структура або множина параметрів задачі (рішення, точка простору пошуку). Це сукупність характеристик, властивих індивіду на певній стадії розвитку.

7. *Популяція* – скінченна множина особин. Популяції характеризуються набором ланцюгів генів кожної з особин, сукупність яких визначає генофонд популяції. В генетичних алгоритмах обсяг (величина) популяції приймається як фіксована величина.

8. *Особини* (інша назва – організми, індивіди), що входять в популяцію, в генетичних алгоритмах представляються хромосомами із закодованими в них множинами параметрів задачі, тобто рішень. Особини є точками в просторі пошуку. В багатьох джерелах припускають, що особина складається з однієї хромосоми, відповідно, хромосома визначатиме точку простору пошуку і являтиме собою потенційний розв'язок задачі.

Кожна особина (точка в просторі пошуку, хромосома) характеризується мірою її пристосованості в популяції. Пристосованість визначається за допомогою відповідної *функції пристосованості* (функції оцінки, фітнес-функції). Ця функція дозволяє оцінити міру пристосованості конкретних особин у популяції й обрати найбільш пристосованих. У задачах оптимізації функція пристосованості, як правило, це функція мети або цільова функція (в більшості випадків знаходять її максимум). У задачах мінімізації цільова функція перетворюється і проблема зводиться до її максимізації. Таким чином, відбувається відбір (селекція), в результаті якого залишаються тільки ті точки в

просторі пошуку рішень, де досягається екстремум цільової функції. Існують різні способи селекції, серед яких найпоширенішими вважаються такі: пропорційний відбір (пропорційно-ймовірнісний), до простого пропорційного відбору відноситься метод рулетки; відбір ранжуванням; турнірний відбір.

Найбільш пристосовані особини дістають можливість відтворювати нащадків за допомогою перехресного схрещування з іншими особинами популяції. Це приводить до появи нових особин, які поєднують в собі деякі характеристики, успадковані від батьків. Найменш пристосовані особини з меншою ймовірністю зможуть відтворити нащадків, а властивості, якими вони володіли, поступово зникатимуть з популяції в процесі еволюції.

Нові особини утворюють наступну популяцію особин, яку називають *новим поколінням* або *поколінням нащадків*. Тобто кожна чергова популяція в генетичному алгоритмі є *поколінням*.

Класичний генетичний алгоритм (інша назва – елементарний або простий генетичний алгоритм) складається з таких кроків: 1) ініціалізація або створення початкової популяції особин; 2) оцінювання пристосованості особин у популяції; 3) перевірка умови зупинки генетичного алгоритму; 4) селекція особин; 5) застосування генетичних операторів схрещування та/або мутації; 6) формування нової популяції; 7) вибір «найкращої» особини.

Кроки генетичного алгоритму повторюються циклічно до того часу, поки не буде виконано умову зупинки генетичного алгоритму, зокрема: знайдено глобальне або квазіоптимальне рішення; виконання генетичного алгоритму не призводить до суттєвого покращення вже досягнутого рішення у попередніх поколіннях; досягнуто задану на початку моделювання кількість поколінь, впродовж яких відбувається еволюція; вичерпано час, що відпущено на еволюцію.

Крім того, в класичному генетичному алгоритмі попередня популяція заміщується новою популяцією нащадків, що має ту ж саму кількість особин.

На сьогодні існують різні види генетичних алгоритмів. Зокрема, простий генетичний алгоритм Д. Гольдберга, репродуктивний план Д. Холланда, генетичний алгоритм Л. Девіса, генетичний алгоритм "Genitor" (Д. Уїтлі), гібридний генетичний метод, який дозволяє об'єднати переваги генетичного пошуку з перевагами класичних методів оптимізації тощо [11].

Одним із важливих моментів у роботі генетичних алгоритмів є проблема представлення даних, тобто те, яким чином мають бути представлені параметри задачі, щоб її можна було вирішити за допомогою генетичного алгоритму. Від цього залежить швидкість генетичного алгоритму та якість результату. Оскільки генетичний алгоритм працює не з самими параметрами задачі у явному вигляді, а з їх представленням, то виникає також необхідність у перетворенні результату роботи генетичного алгоритму у зрозумілий для ОПР вигляд. Таким чином, до початку запуску генетичного алгоритму необхідно здійснити операцію кодування, а після його закінчення – декодування (розкодування).

Можна виділити такі кроки процесу кодування параметрів задачі: 1) визначення параметрів задачі, які підлягають кодуванню, що будуть описуватися

генами в генетичному алгоритмі; 2) визначення кількості розрядів у гені; 3) вибір методу кодування; 4) кодування згідно з обраним методом.

Представлення параметрів задачі визначається способом кодування, серед яких на сьогодні найбільш популярним є двійкове (або бінарне) кодування. Також використовується кодування за допомогою кодів Грея, кодування дійсними числами, цілочислове кодування, логарифмічне кодування, кодування загальної структури даних тощо.

Розглянемо використання генетичного алгоритму на прикладі вибору товару з певної множини, який є кращим за певними ознаками.

На сьогодні дедалі більше людей купують необхідний товар за допомогою Інтернет-магазинів. Це достатньо зручно тому, що не потрібно витрачати час на відвідування магазину та спілкування з продавцями-консультантами. Це вигідно тому, що ціни в таких магазинах у більшості випадках є значно нижчими, ніж у звичайних магазинах. Крім того, коли покупець відвідує звичайний магазин його вибір обмежений пропозицією певного магазину. Якщо ж у магазині відсутній саме той товар, який потрібен покупцю, то він змушений шукати інший магазин, в якому, у свою чергу, також може бути відсутній потрібний йому товар. У результаті він може витрати багато часу і не купити те, що йому потрібно. Таку проблему простіше вирішити через Інтернет-магазини. Сидячі за комп'ютером, можна вивчити асортимент різних Інтернет-магазинів і обрати той, у якому наявний необхідний товар за прийнятною ціною.

Який би спосіб купівлі не обрав покупець, але в будь-якому випадку виникає проблема вибору кращого чи прийнятного для нього товару з низки однотипних. Кожний товар має свої характеристики, за якими й здійснюється такий вибір. І такий вибір досить ефективно можна здійснити за допомогою Інтернет-магазинів, каталоги товарів яких є інтерактивними щодо користувача. Відвідувач такого магазину може обрати критерії виводу каталогу: обрати категорію товарів і виробника, обмежити пошук певними характеристиками товару, відсортувати список товарів за ціною тощо. Існують сайти, на яких різні Інтернет-магазини публікують свої прайс-листи. На такому сайті покупець може побачити ціну на товар, який його цікавить, в різних магазинах одночасно й обрати той, де ціна є меншою. Серед таких сайтів хотілося б виділити проект hotline.ua, який на сьогодні є чи не найкращим засобом для купівлі через Інтернет. На цьому сайті реалізована послуга підбору та порівняння товарів відповідно до їхніх основних характеристик. Покупці можуть залишати свої відгуки щодо товару та роботи Інтернет-магазинів, здійснювати відеоогляди товарів, інтернет-магазини можуть розміщувати інформацію про різні акції тощо.

Незважаючи на це, проблема вибору залишається актуальною. Навіть коли покупець задасть різноманітні критерії вибору, він не обов'язково отримає єдиний конкретний товар. У даній статті для вирішення цієї проблеми пропонується модель вибору товару, що використовує інструментарій еволюційного моделювання, зокрема, генетичний алгоритм.

Варто зауважити, що вибір здійснюється серед товарів одного виду, тобто можна вибрати кращу пропозицію серед телевізорів, але обирати кращу пропозицію серед телевізорів і мобільних телефонів не має сенсу.

Вибір товару будемо здійснювати за такими критеріями, як ціна товару, якість товару та ставлення покупця до торговельної марки (виробника) товару. Дана задача є багатокритеріальною, при чому може існувати декілька рівнозначних рішень вибору товару.

На початковому етапі застосування генетичного алгоритму необхідно здійснити кодування параметрів задачі. Пропонується використати бінарне кодування. В контексті генетичного алгоритму кожній особині, яка є можливим рішенням задачі, буде відповідати один товар. Кожна особина буде складатися з однієї хромосоми, яка, у свою чергу, буде представляти собою бітовий рядок фіксованої довжини, що складатиметься з наборів генів, які відповідають таким ознакам товару, як ціна, якість і ставлення покупця до торговельної марки (виробника) даного товару.

Ставлення покупця до торговельної марки (виробника) даного товару є результатом накопиченого ним досвіду від використання товару цієї торговельної марки (виробника) і формується на рівні емоцій, відчуттів, асоціацій тощо. Назва торговельної марки дозволяє покупцю швидше визначитися з вибором товару, тому що покупець вже заздалегідь довіряє виробнику цієї торговельної марки. Якщо певна торговельна марка (певний виробник) виправдовує надану їй (йому) довіру (покупець постійно користується товаром і задоволений ціною, якістю та властивостями товару), то наступного разу цей покупець не баритиметься під час купівлі, а одразу обиратиме знайому і перевірену торговельну марку (виробника), а також радитиме її (його) своїм друзям і знайомим. У протилежному випадку, покупець не зверне більше уваги на товар цієї торговельної марки. Для більшості покупців відомість і гарна репутація торговельної марки є своєрідним знаком якості та гарантією виконання виробником своїх рекламних обіцянок [4]. Тому часто покупці віддають перевагу популярній торговельній марці, тому що впевнені, що при цьому менше ризикують купити неякісний товар, ніж при купівлі товару невідомої торгової марки. Таким чином, ставлення покупця до торговельної марки (виробника) товару є досить важливим критерієм вибору, а для деяких покупців головним і навіть єдиним.

Ставлення покупця до різних торговельних марок (виробників) може бути виражено за допомогою створення покупцем власного рейтингу торговельних марок, в якому перше місце буде посідати торговельна марка, якій покупець довіряє повністю, а останнє місце – торговельна марка, якій покупець не довіряє. Кожній торговельній марці поставимо у відповідність натуральне число, яке буде відповідати її місцю в даному рейтингу. Кількість бітів d , яка необхідна для бінарного кодування цих чисел визначається таким чином: із нерівності $M < 2^d$, де M – кількість торговельних марок, що входять до рейтингу, знаходимо найменше натуральне число d , при якому ця нерівність виконується. Наприклад, якщо є 20 торговельних марок, то кількість бітів буде дорівнювати 5.

Отже, 1 буде відповідати 00001, 2 – 00010, 3 – 00011 тощо.

Якість продукції (товару) – це сукупність властивостей продукції, яка зумовлює їхню здатність задовольняти певні потреби відповідно до її призна-

чення [2]. Чим вища якість продукції (товару), тим повніше задовольняються потреби споживача (покупця). Під показником якості розуміють кількісний вираз однієї або кількох однорідних властивостей продукції, що задовольняють певні потреби споживачів стосовно її цільового призначення й умов використання [1]. Відношення фактично досягнутого показника якості до його нормативного (базового) значення визначає рівень якості продукції. Існує ціла наука про якість – квалітологія, а галузь науки, яка вивчає й реалізує методи і засоби кількісної оцінки якості продукції називається *кваліметрією*.

В рамках нашої задачі якість товару пропонується визначати таким чином: на сайті проекту hotline.ua для кожного товару користувачі сайту можуть залишати свої коментарі щодо товару, оцінювати товар, визначати корисність коментарів інших користувачів, тобто визначати, наскільки цей товар задовольнив їхні потреби до цільового його призначення. Таким чином рівень якості товару, що представлений у каталогах сайту, пропонується визначати за такою формулою:

$$Q = 1 - \frac{1}{5 \times m} \times \sum_{i=1}^m s_i \times k_i, \quad (1)$$

де s_i – оцінка товару, яку було виставлено у i -ому відгуці (вона дорівнює 0, 1, 2, 3, 4 або 5), чим оцінка вища, тим вище оцінює даний товар відвідувач; k_i – корисність i -ого відгуку щодо товару, яка визначається за формулою:

$$k_i = \frac{p_i - n_i}{p_i + n_i}, \quad (2)$$

де p_i – кількість відвідувачів сайту, які зазначили, що даний відгук був корисним для нього; n_i – кількість відвідувачів сайту, які зазначили, що даний відгук не був корисним для нього; m – кількість відгуків відвідувачів, в яких інші відвідувачі висловили свою думку щодо корисності відгуку. Відгуки споживачів, в яких не висловлено ставлення інших споживачів до даного відгуку, враховувати не будемо. Це робиться для того, щоб наші дослідження були максимально об'єктивними.

Якщо відгуків немає, але є тільки оцінка споживачів, то будемо орієнтуватися на неї, і в цьому випадку рівень якості товару буде розраховуватися так:

$$Q = 1 - \frac{1}{5} \times s, \quad (3)$$

де s – середня оцінка товару.

Під час розрахунку рівня якості Q будемо округлювати результат до першого знаку після коми. Якщо під час розрахунків отримане значення Q більше 1, то для досліджень приймаємо, що Q дорівнює 1. В результаті Q може мати такі значення: 0, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9 або 1. Чим значення Q ближче до 0, тим якість товару вища.

Кодування можливих значень Q здійснюється так: найменше натуральне число d , яке задовольняє нерівності $(b - a) \times 10^q \leq 2^d - 1$, визначає необхідну та достатню довжину бінарного рядка для кодування числа з інтервалу $[a, b]$ з кроком $r = 10^{-q}$. Кожному такому бінарному рядку відповідає десяткове значення числа, представлене даним кодом з урахуванням правила переведення

десяткових чисел у двійкову форму. У нашому випадку $a = 0$, $b = 1$, $q = 1$, $r = 0,1$, тоді з нерівності $(1-0) \times 10^1 \leq 2^d - 1$ знаходимо, що $d = 4$. Тоді значення параметра $Q = \{0;0,1;0,2;0,3;0,4;0,5;0,6;0,7;0,8;0,9;1\}$ можна закодувати таким чином: 0000 0001 0010 0011 0100 0101 0110 0111 1000 1001 1010.

Ціна товару – це фундаментальна економічна категорія, яка означає кількість грошей, за яку продавець згоден продати, а покупець готовий купити одиницю товару. Як правило, покупець хоче придбати товар за якомога меншу ціну, а продавець продати за якомога більшу. На сайті проекту hotline.ua при виборі конкретного товару споживач бачить список магазинів і ціну, за яку вони продають даний товар. Для того, щоб можна було порівняти даний товар з іншими товарами даного товарного виду, будемо розглядати для кожного товару його середню ціну, яка визначається як середньоарифметичне всіх можливих цін:

$$P = \frac{1}{l} \sum_{j=1}^l P_j, \quad (4)$$

де P_j – ціна на товар, яку пропонує j -ий продавець, $j = 1, \dots, l$; l – кількість продавців даного товару.

Звичайно, можна було б обрати мінімальну ціну, але вона є суб'єктивною і не завжди правдивою, тому що часто Інтернет-магазини умисно занижують ціну, щоб потенційний покупець звернув увагу саме на їхній магазин, насправді ж ця ціна може бути вищою за оголошену. Крім того, необхідно враховувати те, що ціна не є постійною величиною, вона може змінюватися залежно від різних умов. Зокрема, ціна на високотехнологічний товар (смартфони, мобільні телефони, планшети комп'ютери тощо) може змінюватися щодня, як правило, зменшуватися, а ціна на традиційний товар (меблі, книги, сантехніка тощо) змінюється не так швидко. Під час досліджень необхідно це враховувати. Наприклад, якщо покупець приймає рішення щодо покупки смартфона на основі даних щодо цін місячної давності, то результат буде далекий від реальної ситуації на момент прийняття рішення.

Під час кодування доцільно округлювати значення ціни до цілого числа. Кількість бітів s , яка необхідна для бінарного кодування ціни на товар визначається як найменше натуральне число, при якому виконується нерівність $P_{max} < 2^s$, де P_{max} – максимально можлива ціна на товари, які розглядаються покупцем.

Ціна на різний товар може суттєво відрізнятись, відповідно необхідно буде й різна кількість бітів. Наприклад, для кодування ціни порядку 100 грн. необхідно 8 бітів, а для ціни порядку 1000 грн. необхідно 10 бітів. Тому дана частина хромосоми за розміром буде різною для різних товарів.

Кількість особин у просторі пошуку буде дорівнювати кількості товару одного виду, що розглядаються споживачем під час вибору. Зокрема, якщо споживач обирає смартфон, то в каталозі проекту hotline.ua станом на 20 червня 2012 р. налічувалося близько 400 різних моделей, тобто простір пошуку будуть утворювати 400 особин. Залежно від технічних характеристик товару простір пошуку можна зменшити.

Продемонструємо деякі моменти роботи генетичного алгоритму на прикладі. Нехай для вибору обрано такі моделі смартфонів:

- 1) HTC One V (Black), середня ціна дорівнює 2812 грн., рівень якості дорівнює 0,8;
- 2) HTC Sensation (Black), середня ціна дорівнює 4197 грн., рівень якості дорівнює 0,6;
- 3) HTC 7 Mozart, середня ціна дорівнює 2545 грн., рівень якості дорівнює 0,5;
- 4) Samsung I9100 Galaxy S II (Black), середня ціна дорівнює 4486 грн., рівень якості дорівнює 0,6;
- 5) Samsung I9250 Galaxy Nexus (Black), середня ціна дорівнює 4028 грн., рівень якості дорівнює 1;
- 6) Sony Xperia S (Black), середня ціна дорівнює 5443 грн., рівень якості дорівнює 0,5;
- 7) Sony Xperia Sola (Black), середня ціна дорівнює 3472 грн., рівень якості дорівнює 0,5;
- 8) LG P705 Optimus L7 (Black), середня ціна дорівнює 2982 грн., рівень якості дорівнює 0,8;
- 9) LG P970 Optimus Black (Black), середня ціна дорівнює 2774 грн., рівень якості дорівнює 0,7;
- 10) Blackberry Bold 9900, середня ціна дорівнює 5133 грн., рівень якості дорівнює 0,2.

Рейтинг уподобань споживача виробників (торговельних марок) виглядає так: 1) Sony; 2) HTC; 3) Samsung; 4) Blackberry; 5) LG. Для кодування 5 торговельних марок необхідно 3 біти. Відповідно, Sony буде 001, HTC – 010, Samsung – 011, Blackberry – 100, LG – 101.

Максимальна ціна 5443 грн., тоді з нерівності $5443 < 2c$ отримуємо, що кількість бітів, необхідна для кодування ціни, буде дорівнювати 13.

Отже, даним смартфонам будуть відповідати такі особини (хромосоми), що складаються з 20 бітів:

- 1) 0101011111100 1000 010;
- 2) 1000001100101 0110 010;
- 3) 0100111110001 0101 010;
- 4) 1000110000110 0110 011;
- 5) 0111110111100 1010 011;
- 6) 1010101000011 0101 001;
- 7) 0110110010000 0101 001;
- 8) 0101110100110 1000 101;
- 9) 0101011010110 0111 101;
- 10) 1010000001101 0010 100.

В даних хромосомах перші 13 бітів відповідають ціні, наступні 4 – якості товару, останні 3 – показують ставлення покупців до торговельної марки смартфона.

Після того, як буде здійснено кодування, випадковим чином створюється певна кількість початкових елементів – особин, що створюють початкову популяцію. Особини оцінюються за допомогою функції пристосованості, в ре-

зультаті якої кожній особині присвоюється певне значення пристосованості, яке визначає можливість її виживання. За функцію пристосованості приймемо значення в десятковій системі всього бітового рядка. Чим це значення буде меншим, тим краща пристосованість особини.

Після цього, використовуючи отримані значення пристосованості, обираються особини допущені до схрещення. Такий вибір називається селекцією. Далі до цих особин застосовуються генетичні оператори схрещення і/або мутації, створюючи таким чином наступне покоління особин, які також оцінюються. Серед них обираються кращі та застосовуються генетичні оператори. Так моделюється еволюційний процес, що продовжується кілька життєвих циклів (покоління), поки не спрацює критерій зупинки алгоритму.

В кожному новому поколінні можуть утворитися хромосоми, які будуть знаходитися поза простором рішень. Це пов'язано насамперед з тим, що у нашому випадку кількість бітів дорівнює 20, відповідно і кількість потенційних розв'язків буде складати $2^{20} = 1048576$ хромосом, серед яких є такі, що входять до простору рішення, і такі, що йому не належать. З метою вирішення цієї проблеми можна використати схему.

Схемою називають підмножину множин всіх можливих генотипів, які можливі в даній популяції, що задана у вигляді хромосоми з фіксованим значенням певних бітів. Решта бітів можуть приймати будь-яке значення. Для визначення схем використовується розширений алфавіт $\{0,1,*\}$, в якому символ $*$ означає будь-яке значення (або 0, або 1). Наприклад: $0*1 = \{001, 011\}$, $*11*01 = \{011001, 011101, 111001, 111101\}$.

Завдяки схемі визначається множина хромосом, яким притаманні подібні властивості. Всі генетичні операції виконуються, враховуючи схему та відповідну функцію пристосованості схеми, значення якої визначається як середнє арифметичне всіх значень функції пристосованості хромосом схеми.

Запропонований підхід дещо обмежує головну філософію генетичного алгоритму – випадковість, імовірність тих чи інших процесів в еволюції, але не порушує її в цілому.

Для розв'язку задач за допомогою генетичного алгоритму можна використати низку програм, зокрема, "Genetic Algorithm Tool", "Evolver", "GeneHunter" [7; 9]. Крім того, в Інтернеті також можна знайти багато корисних сайтів, присвячених реалізації генетичних алгоритмів. Зокрема, на сайті www.basegroup.ru запропоновано бібліотеку компонентів "Delphi GeneBase", на сайтах www.generation5.org та www.sourceforge.net є достатня кількість прикладів реалізації генетичного алгоритму різними мовами програмування.

Висновки. Проблема використання адекватних методів і моделей підтримки прийняття рішень у економіці та підприємстві буде актуальною завжди. Але сучасні умови прийняття рішень, які постійно змінюються, вимагають застосування нових, більш ефективних засобів. Одним із таких засобів може бути інструментарій еволюційного моделювання, зокрема, генетичні алгоритми.

У статті досліджено ефективність використання генетичних алгоритмів порівняно з класичними методами оптимізації, показані переваги та недоліки їх застосування.

Запропонований на основі генетичного алгоритму підхід до вибору з множини однотипних кращого товару за певними ознаками, є авторською розробкою і може бути використаний будь-яким Інтернет-магазином для надання своїм покупцям додаткового засобу підтримки прийняття рішення щодо вибору товару. Крім того, даний підхід після модифікації може бути використаний і будь-яким торговельним чи виробничим підприємством для вибору кращої пропозиції постачальників продукції.

1. *Андрійчук В.Г.* Економіка аграрних підприємств: Підручник. – 2-ге вид., доп. і перероб. – К.: КНЕУ, 2002. – 624 с.
2. ДСТУ Б А.1.1-11-94. Система стандартизації та нормування в будівництві. Показники якості і методи оцінки рівня якості продукції. Терміни та визначення // document.ua.
3. *Дубровін В.І., Федорченко Є.М.* Дослідження та розроблення генетичних алгоритмів та операторів схрещування // Інформаційні системи та мережі: Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – №673. – Львів, 2010. – С. 97–104.
4. Маркетолог напрокат // paporotnik.com.ua.
5. *Назаров А.В., Лоскутов А.И.* Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем. – СПб.: Наука и техника, 2003. – 384 с.
6. *Погорілий С.Д., Білоус Р.В.* Генетичний алгоритм розв'язання задач маршрутизації в мережах // Проблеми програмування. – 2010. – №2–3: Спец. вип. – С. 171–178.
7. *Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л.* Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 452 с.
8. *Самотній В., Дзелендзяк У.* Використання генетичних алгоритмів для апроксимації функції дійсними числами // Комп'ютерні науки та інформаційні технології: Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – №694. – Львів, 2011. – С. 313–318.
9. *Ситник В.Ф., Краснюк М.Т.* Інтелектуальний аналіз даних (дейтамайнінг): Навч. посібник. – К.: КНЕУ, 2007. – 376 с.
10. *Скіцько В.І.* Прийняття рішень за нечітко визначених умов // Моделювання та інформаційні системи в економіці: Зб. наук. праць. – Вип. 80. – К.: КНЕУ, 2009. – С. 186–196.
11. *Субботін С.О., Олійник А.О., Олійник О.О.* Неітеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечіткологічних і нейромережних моделей: Монографія / Під заг. ред. С.О. Субботіна. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. – 374 с.
12. *Шегда А.В., Голованенко М.В.* Ризики в підприємстві: оцінювання та управління: Навч. посібник / За ред. А.В. Шегди. – К.: Знання, 2008. – 271 с.
13. *Holland, J.H.* (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems.* University of Michigan Press, Ann Arbor.
14. *Luke, S.* (2009). *Essentials of Metaheuristics.* Lulu.com. 241 p.

Стаття надійшла до редакції 19.07.2012.