

трясінь, яких вона зазнала внаслідок економічної та політичної кризи в Україні.

Список використаних джерел

1. Кузьменко Р.В. Організаційні та структурні чинники зміни пріоритетів / Р.В. Кузьменко // Структурні реформи економіки: світовий досвід, інститути, стратегії для України. – Тернопіль: Економічна думка ТНЕУ, 2011. – 848 с.
2. Колодинський С.Б. Структурні трансформації старопромислових регіонів / С.Б. Колодинський, Л.М. Кузьменко, І.В. Хаджинов // Структурні реформи економіки: світовий досвід, інститути, стратегії для України. – Тернопіль: Економічна думка ТНЕУ, 2011. – 848 с.
3. Василенко В.Н. Многомерность параметров региона: территории, системы, пространство: монография / В.Н. Василенко. – Дружковка: ІЕПД НАН України, «ЮГО - ВОСТОК», 2016. – 408 с.
4. Василенко В.Н. Диагностика развития регионов: виды, подходы, приемы: монография / В.Н. Василенко, А.И. Благодарный, А.И. Ватченко и др.; под науч. ред. В.Н. Василенко. – Донецк: «ЮГО-ВОСТОК», 2012. – 558 с.
5. Медвідь В.Ю. Економічне регулювання регіонального розвитку: теорія, методологія, практика: монографія / В.Ю. Медвідь: наук. ред. В.Н. Василенко; НАН України Ун-т економіко-правових досліджень. – К.: вид-во «Діса плюс», 2015. – 282 с.
6. Просторовий розвиток регіону: соціально-економічні можливості, ризики і перспективи: монографія / за ред. д.е.н., проф. Л.Т. Шевчук. – Львів: ІРД НАН України, 2011. – 256 с.
7. Смирнов В.В. Парадигма и концепция эффективного социально – экономического развития региона / В.В. Смирнов // Регионология. – 2011. – №2. – С.56-63.
8. Кухарская Н.А. Стратегические приоритеты трансформации экономики регионов Украины: тенденции, формы, механизмы: монография / Н.А. Кухарская. – Одесса: ИПРЭИ НАН Украины, 2010. – 519 с.
9. Монастирський Г.Л. Модернізаційна парадигма управління економічним розвитком територіальних спільнот базового рівня: монографія / Г.Л. Монастирський. – Тернопіль: Економічна думка ТНЕУ, 2010. – 464 с.
10. Чухно А.А. Становлення еволюційної парадигми економічних теорій: Твори: У трьох томах / А.А. Чухно. – К.: 2007. – Т. 3. – 217 с.
11. Дубницький В.И. Парадигма функционирования рыночных процессов в условиях трансформации регионов / В.И. Дубницький // Трансформация промышленного комплекса региона: проблемы управления развитием / под ред. В.И. Дубницкого, И.П. Булеева. – Донецк: ДЭГИ, ООО «Юго-Восток, Лтд», 2008. – 548 с. [3.2. – С. 105-130]
12. Пепа Т.В. Сучасна парадигма регіонального розвитку продуктивних сил економічного простору України / Т.В. Пепа. – Черкаси: Вертикаль, 2012. – 526 с.
13. Лазарева Т.С. Обоснование необходимости выравнивания региональных различий (диспропорций) / Т.С. Лазарева // Структурные трансформации старопромышленных регионов Украины / ИЭП НАН Украины. – Донецк, 2013. – 412 с.

В. В. Жихаревич

канд. фіз.-мат. наук

Чернівецький національний університет

ім. Ю. Федьковича, м. Чернівці,

Н. О. Мацюк

Буковинський державний фінансово-економічний

університет, м. Чернівці

РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ МАРШРУТИЗАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДИФІКОВАНОГО МУРАШИНО-КЛІТИННО-АВТОМАТНОГО АЛГОРИТМУ

Постановка проблеми. Задача маршрутизації транспорту (Vehicle Routing Problem, VRP) представляє собою задачу комбінаторної оптимізації, яка полягає у пошуку набору найкоротших маршрутів руху парку транспортних засобів, що розташовані в одному або кількох депо, у процесі розвезення продукції точкам-споживачам. При цьому, можуть бути накладені обмеження щодо кількості та вантажопідйомності транспортних засобів, обсягів потреб споживачів, часу доставки тощо.

Очевидно, що VRP є узагальненим випадком досліджуваної нами раніше [1] задачі комівояжера (Travelling Salesman Problem, TSP), коли попит споживачів приймається ненульовим та існує декілька аген-

тів, що рухаються. Такі задачі належать до класу NP-складних, розв'язання яких вимагає значних обчислювальних ресурсів, а час пошуку оптимального розв'язку залежить від розмірності задачі експоненційно. У зв'язку з цим, при розв'язанні конкретних практичних завдань такого роду, коли розмірність може досягати 100 пунктів і більше, рекомендується застосовувати наближені методи [2]. Тому на сучасному етапі актуальною є розробка та вдосконалення метаевристичних методів розв'язання комбінаторних задач, до яких належать в тому числі генетичні алгоритми (GA), клітинні автомати (CA) та метод мурашиних колоній (ACO). Дані методи будують свою роботу аналогічно з процесами, які відбуваються у живій природі. Тому в

деяких джерелах можна зустріти назву «біоінспіровані алгоритми» [3], що з англійської означає – натхненні природою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Незважаючи на те, що вказані метаевристичні методи об'єднані в один науковий напрям, що має назву «природні обчислення» (Natural Computing), та дозволяють знаходити наближені до оптимальних розв'язки комбінаторних задач за прийнятний час, вони відрізняються як за якістю розв'язків, так і за швидкістю роботи. Порівняння ефективності використання різноманітних метаевристичних методів для розв'язання комбінаторних задач здійснене у багатьох працях. І хоча у [4] доведено вищу ефективність методів роїового інтелекту (мурашиних та бджолиних алгоритмів) порівняно із GA для розв'язання більшості NP-складних задач, у [5] зазначено, що саме TSP ефективніше розв'язується за допомогою АСО та GA. Дозволимо собі не погодитись з цим, оскільки виходячи із своєї природи, мурахи прагнуть потрапляти в одні і ті самі пункти, тоді як комівояжер не повинен повторно відвідувати жоден пункт, окрім початкового. Такі протиріччя стали причиною появи останніми роками все більшої кількості різноманітних комбінативних існуючих методів. Наприклад, у [6] розроблено гібридний GA розв'язку VRP з обмеженою вантажопідйомністю, який ґрунтується на використанні двох популяцій, деякі особини яких періодично мігрують. У наведеній роботі зазначається, що такий гібридний GA за своєю ефективністю може змагатися із найкращим методом – пошуком з відмовою. Ідея застосування багатопопуляційних GA також розвинена у [7], проте в даній праці якість роботи GA підвищена за допомогою АСО. Аналогічно, у [8] для розв'язання TSP розроблено гібридний алгоритм, суть якого полягає у послідовному використанні операторів GA і АСО та інтеграції генетичної інформації у процес побудови шляху агентом АСО, а також доведено, що даний алгоритм дозволяє знаходити більш якісні розв'язки, ніж АСО, за той самий час.

Мета статті. Огляд існуючої літератури з даної тематики доводить, що найбільш перспективним є використання не чистих, а комбінованих метаевристичних методів для розв'язання таких задач, як TSP та VRP. Це логічно, зважаючи на специфіку VRP, яка фактично складається з двох підзадач – задачі пошуку найкоротших відстаней між кожною парою пунктів призначення та задачі комівояжера. Тому метою даної роботи є розробка модифікованого мурашино-клітинно-автоматного алгоритму розв'язання VRP з урахуванням якості доріг та реальної дорожньої ситуації.

Виклад основного матеріалу дослідження. VRP лежить на перетині двох добре вивчених задач – TSP та задачі про упакування рюкзаку (Bin Packing Problem, BPP). Існує щонайменше 7 різновидів VRP [9], які відрізняються між собою за ступенем деталізації. Ми розглянемо найбільш загальну варіацію задачі маршрутизації – Capacitated VRP (CVRP). Вона є розширеною версією класичної VRP та урахує додатковий параметр – обмежену вантажопідйомність транспортного засобу. Тут і далі CVRP будемо згадувати як звичайну VRP.

Модель VRP включає такі параметри:

n – кількість споживачів (пунктів, до яких необхідно доставити вантаж);

K – вантажопідйомність кожного транспортного засобу;

$D = \{d_{ij}\}_{i,j=1,n}$ – вектор попиту (обсягу замовлення)

споживачів;

$C = \{c_{ij}\}_{i,j=0,n}$ – матриця вартостей транспортування вантажу між споживачами i та j .

Сутність VRP полягає в наступному. Однакові транспортні засоби обмеженої вантажопідйомності K здійснюють доставку продукції з депо n_0 до споживачів $\overline{n_1, n_n}$. Завдання полягає у мінімізації загальних витрат на доставку продукції (або відстаней, що проходять всі транспортні засоби). Тобто, необхідно визначити набір маршрутів мінімальної загальної вартості, що відповідають таким вимогам:

- кожен маршрут починається і закінчується у депо;
- кожен споживач включається лише в один з маршрутів, оскільки може обслуговуватися лише одним транспортним засобом;
- сумарний попит споживачів кожного маршруту не перевищує вантажопідйомності транспортного засобу.

Ураховуючи усі введені позначення, VRP може бути формалізована у вигляді зваженого орієнтованого графу $G = (N, A)$. Множина вершин N включає множину споживачів C (вершини $\overline{n_1, n_n}$), а також депо n_0 . Множина ребер A формується з можливих зв'язків між вершинами. Кожному ребру (n_i, n_j) відповідає певна вартість перевезень між споживачами i та j , вартість перевезень з будь-якого пункту до цього ж пункту, зрозуміло, нульова $c_{ii} = 0$. Матриця вартостей (відстаней) є симетричною, коли $c_{ij} = c_{ji}$. В реальних умовах частіше зустрічаються несиметричні матриці, що пов'язано, наприклад, з існуванням шляхів з одностороннім рухом. Множину однакових транспортних засобів, що характеризуються певною вантажопідйомністю K , позначимо як V . Кожен споживач, в свою чергу, має певну величину попиту (обсяг його замовлення) d_i . Змінною виступає лише одна величина X_{ij}^v , яка може набувати двох значень: 1 – якщо транспортний засіб v переїжджає з пункту i до пункту j , 0 – в іншому випадку.

Цільова функція VRP виглядає таким чином [10]:

$$\sum_{v \in V} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} X_{ij}^v \rightarrow \min; \quad (3)$$

А обмеження, відповідно:

$$\sum_{v \in V} \sum_{j \in N} X_{ij}^v = 1; \quad \forall i \in C, \quad (4)$$

$$\sum_{i \in C} d_i \sum_{j \in N} X_{ij}^v \leq K; \quad \forall v \in V, \quad (5)$$

$$\sum_{j \in C} X_{0j}^v = 1; \quad \forall v \in V, \quad (6)$$

$$\sum_{i \in N} X_{ik}^v - \sum_{j \in N} X_{kj}^v = 0; \quad \forall k \in C, \quad \forall v \in V, \quad (7)$$

$$X_{ij}^v \in \{0, 1\}, \quad \forall (i, j) \in A, \quad \forall v \in V. \quad (8)$$

Обмеження (4) означає, що кожен споживач повинен бути обслугований лише одним транспортним за-

собом. Нерівність (5) встановлює обмеження на вантажопідйомність транспортних засобів. Сумарне замовлення споживачів, що обслуговуються одним транспортним засобом, не повинне перевищувати його номінальної вантажопідйомності. Обмеження (6) фіксує, що кожний транспортний засіб може виїхати з депо лише один раз. А обмеження (7) означає, що кількості транспортних засобів, що вїхали та виїхали від споживача чи депо, повинні бути однаковими.

Така задача розв'язується у два етапи:

- розбиття множини вершин N на m підмножин (маршрутів);
- визначення послідовності відвідування вершин у кожному маршруті.

Розв'язок VRP можна зобразити у вигляді графа, що є об'єднанням m орієнтованих циклів вихідного графа G , що мають єдиний перетин у точці n_0 (рис. 1).

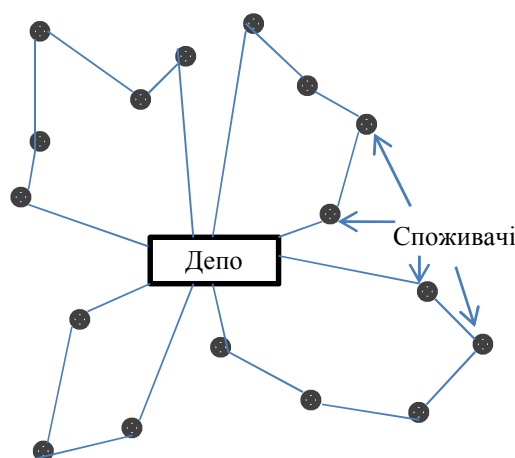


Рис. 1. Представлення розв'язку задачі маршрутизації

Під час розв'язання VRP, що описує реальні випадки, часто потрібна більша деталізація. Додатковими параметрами, що включаються в модель, можуть бути асиметрична матриця відстаней, декілька депо, неоднорідні транспортні засоби, різне часове вікно для кожного споживача. Врахування подібних факторів робить розв'язання даної задачі ще важчим.

Двоетапність VRP зумовлює специфічний вибір методів її розв'язання. Зокрема, для розв'язання першого етапу – розбиття множини вершин на підмножини та знаходження найкоротших відстаней між усіма вершинами – найбільш ефективним виступає АСО у зв'язку зі здатністю мурах вишукувати оптимальні шляхи між пунктами. Проте, для розв'язання другого етапу – визначення послідовності відвідування вершин у кожному маршруті, що фактично представляє собою розв'язання TSP, – АСО є малоефективним, що пов'язано із природою мурах, які прагнуть потрапляти в одні і ті самі пункти, в той час, як комівояжер не повинен відвідувати один пункт двічі за включенням депо. Тому, для розв'язання VRP ми пропонуємо використати модифікований мурашино-клітинно-автоматний алгоритм.

Роботу пропонуваного модифікованого мурашино-клітинно-автоматного алгоритму можна зобразити у вигляді блок-схеми (рис. 2). Він працює у два етапи:

1) знаходження наближених до оптимальних шляхів між пунктами, грунтуючись на мережі доріг, за допомогою модифікації АСО по аналогії з процесами росту гриба-слизівика;

2) розв'язання задачі відвідування усіх пунктів в межах сформованих маршрутів методом СА.

Мурашино-клітинно-автоматний алгоритм розв'язання VRP було удосконалено на основі аналогії з процесами росту гриба-слизівика виду *Physarum polycephalum* [11], який під час пошуку джерела їжі завдяки процесу селективного посилення бажаних маршрутів і одночасного видалення надлишкових зв'язків здатний формувати ефективні з точки зору вартості, продуктивності та відмовостійкості транспортні мережі.

Саме цей механізм і став основою модифікації мурашиного алгоритму [12], сутність якої полягає в тому, що мурахи не бігають, як в класичному алгоритмі, залишаючи за собою феромон, а вишикуються в ланцюжки. Таким чином відтворюється клітинно-автоматний підхід при реалізації алгоритму.

Спочатку, за аналогією зі слизівиком, вибудовується суцільна мережа мурах, які починають передавати одна одній порції «поживних речовин».

Імовірність передачі товару від однієї мурахи до іншої визначається так:

$$P_{ij,k}(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in J_{i,k}} [\tau_{il}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{il}]^\beta}, & \text{if } j \in J_{i,k}, \\ 0, & \text{if } j \notin J_{i,k}, \end{cases} \quad (9)$$

де α та β – параметри, які визначаються експериментальним чином.

Потім відбувається відмирання неефективних мурах, тобто таких з них, які більше простоюють без діла, ніж передають порцію товарів (аналог «випаровування феромону»).

Визначення ступеня ефективності роботи k -тої мурахи відбувається за такою формулою:

$$\Delta\tau_{ij,k}(t) = \begin{cases} \frac{Q}{L_k(t)}, & \text{if } (i, j) \in T_k(t), \\ 0, & \text{if } (i, j) \notin T_k(t), \end{cases} \quad (10)$$

де $T_k(t)$ – маршрут, що k -та мураха пройшла на t -тій ітерації, довжиною $L_k(t)$; Q – регульований параметр, значення якого одного порядку із довжиною оптимального маршруту.

Чим частіше передається товар, тим мураха ефективніше і корисніше. Тобто в ній ніби підвищується рівень феромону, як у класичному мурашиному алгоритмі.

Швидкість відмирання не ефективних мурах формалізується так:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-p) \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t), \quad (11)$$

де $p \in [0,1]$ – коефіцієнт випаровування феромону,

$$\Delta\tau_{ij}(t) = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij,k}(t), \quad m - \text{кількість мурах в колонії.}$$

Тобто, чим менше у мурахи феромону, тим більша ймовірність її смерті. Таким чином відбувається звуження широкої мережі в окремі найбільш оптимальні транспортні ланцюжки.

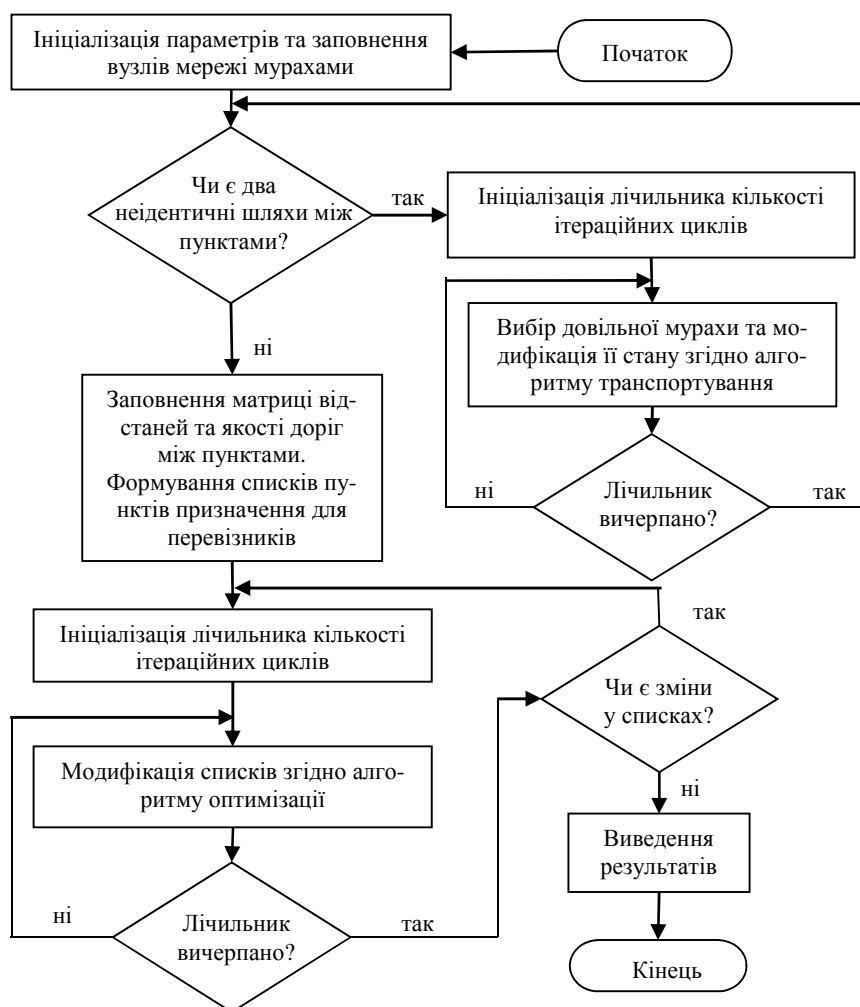


Рис. 2. Блок-схема роботи модифікованого мурашино-клітинно-автоматного алгоритму

Результати обчислювального експерименту. Для реалізації модифікованого мурашино-клітинно-автоматного алгоритму розв'язання VRP було прийнято низку припущень:

кількість пунктів призначення, розташованих випадковим чином, дорівнює 8;

увесь вантаж розвозиться двома транспортними засобами;

вантажопідйомність транспортних засобів є достатньою, щоб за один маршрут перевезти увесь товар; сумарне замовлення споживачів не перевищує номінальної вантажопідйомності двох транспортних засобів;

витрати часу, окрім часу на транспортування, нульові, зокрема це час на розвантажувальні роботи та час на обідню перерву (витрати часу на розвантажування продукції можна урахувати шляхом додавання до загального часу деяких усереднених значень цього часу, помножених на кількість пунктів).

Зазначені спрощення не виходять за межі основної мети нашого дослідження, якою є демонстрація можливостей мурашино-клітинно-автоматного алгоритму при розв'язанні VRP.

Реалізація мурашино-клітинно-автоматного алгоритму розв'язання VRP, у нашому випадку, перш за все передбачає представлення транспортної інфраструктури міста у деякому мережевому вигляді (рис.3). Таким чином, задача оптимізації транспортування де-

яких вантажів зводиться до пошуку мінімальних відстаней між заданими вузлами мережі.

Окрім врахування відстаней між вузлами, в реальних ситуаціях, більш корисною є інформація, яка дозволяє мінімізувати час, що витрачається на подолання цієї відстані. Він визначається наступними факторами: якість дорожнього покриття; наявність світлофорів та регулярність їх переключення; кількість смуг руху (пропускна спроможність дороги); кількість сторонніх машин у конкретні періоди часу (формування заторів); середній час, який витрачається для здійснення повороту.

Окрім перелічених, можна навести ще низку факторів, що залежать від багатьох суб'єктивних та об'єктивних причин (пори року, час доби тощо). У кінцевому випадку всі ці фактори можна звести до середнього часу подолання конкретної ділянки дороги, що залежить від середньої швидкості на цій ділянці та її довжини. Крім цього, іноді має місце односторонній рух деякою ділянкою дороги, що однозначно впливає на траєкторії руху транспортних засобів.

Для аналізу ефективності мурашино-клітинно-автоматного алгоритму при розв'язанні VRP, було згенеровано модельну інфраструктуру доріг деякого фрагменту міста та пункти, до яких необхідно доставити вантаж (рис. 4). Ширина фрагменту – 10 км, висота – 5 км. Окрім цього, прийнято три типи доріг із різними середніми швидкостями їх подолання – 10, 20

// Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск «Интеллектуальные САПР». – Таганрог : Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – № 4(93) – 256 с.

4. Курейчик В. М. Использование роевого интеллекта в решении NP-трудных задач / В. М. Курейчик, А. А. Кажаров // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – №7. – С.30-36.

5. Курейчик В. М. Использование пчелиных алгоритмов для решения комбинаторных задач / В. М. Курейчик, А. А. Кажаров // Штучний інтелект. – 2010. – №3. – С.583-589.

6. Berger J. A New Hybrid Genetic Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing Problem. / J. Berger and M. Barkaoui // Journal of the Operational Research Society. – 2003. – №41(2). – P. 179-194.

7. Бегляров В. В. Гибридный многопопуляционный муравьиный генетический алгоритм / Бегляров В. В., Берёза А. Н., Стороженко А. С. // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – №7. – С.39-45.

8. Мартынов А. В. Гибридный алгоритм решения задачи коммивояжера / А. В. Мартынов, В. М.

Курейчик // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2015. – №4 (165). – С.36-44.

9. Кочегурова Е.А. Оптимизация составления маршрутов общественного транспорта при создании автоматизированной системы поддержки принятия решений / Е.А. Кочегурова, Ю.А. Мартынова // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323. – № 5. – С.79-84.

10. Bjarnadottir A. S. Solving the Vehicle Routing Problem with Genetic Algorithms / Aslaug Soley Bjarnadottir. – Technical University of Denmark, 2004. – 127 p.

11. Tero A. Rules for Biologically Inspired Adaptive Network Design / Atsushi Tero, Seiji Takagi, Tetsu Saigusa, Kentaro Ito, Dan P. Bebber, Mark D. Fricker, Kenji Yumiki, Ryo Kobayashi, Toshiyuki Nakagaki // Science. – 2010. – Vol. 327. – P. 439-442.

12. Штовба С.Д. Муравьиные алгоритмы / С.Д. Штовба // Exponenta Pro. Математика в приложениях. – 2003. – № 4. – С. 70-75.

В. Є. Зайцев

канд. екон. наук

Університет митної справи та фінансів, м. Дніпропетровськ

ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ ЯК ОСНОВА ЕФЕКТИВНОЇ ІННОВАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ТА ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ПІДПРИЄМСТВ

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку світової економіки ґрунтується на випереджувальному використанні інформації, знань та технологій. Одним з найвпливовіших користувачів даних складових являється підприємницький сектор, оскільки пошук конкурентної боротьби за споживачів та ринки збуту є водночас і наслідком використання інтелектуального капіталу, і стимулом його застосування.

В таких обставинах залучення до господарської діяльності об'єктів права інтелектуальної власності (ОПІВ) стає визначальним фактором забезпечення підприємствами своїх конкурентних переваг. Володіння виключними правами на унікальні розробки, відомий бренд чи репутацію сьогодні є більш впливовою та прибутковою передумовою успішної діяльності компанії, аніж наявність матеріальних активів. Тому, зважаючи на багатий світовий досвід використання ОПІВ та різноманітність їх видів, підприємницький сектор України потребує глибокого дослідження та пошуку найбільш ефективного, найбільш альтернативного методу впровадження і розвитку інтелектуальної власності (ІВ) в господарській діяльності, що є важливим кроком якісного розвитку держави в цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Широке використання терміну «інтелектуальна власність» в сучасному законодавстві, науковій літературі та практиці багатьох країн розпочалося в 1967 р., коли у Стокгольмі була підписана Конвенція про заснування Всесвітньої організації інтелектуальної власності (ВОІВ), яка трактує інтелектуальну власність як збірне по-

няття, що позначає усі права на результати творчої діяльності і деякі прирівняні до них об'єкти.

Загалом поняття «інтелектуальна власність» має багато трактувань, що в першу чергу пояснюється широким колом різноманітних об'єктів, які підпадають під його визначення. Більшість економістів трактують інтелектуальну власність як матеріально виражений результат розумової діяльності, який охороняється встановленими нормами і офіційними документами (патентами і т. д.) і надає автору виняткове право на нього, при цьому акцент в даному понятті роблять або на абстрактній природі, втіленні розумових та творчих ідей людини або, навпаки, віддають перевагу правовій природі інтелектуальної власності, тобто виділяють в першу чергу право володіння результатами розумової та творчої діяльності (табл. 1).

Метою статті є дослідження світового досвіду залучення інтелектуальної власності до господарської діяльності підприємницького сектору та обґрунтування її ролі у формуванні конкурентних переваг українських підприємств.

Виклад основного матеріалу. Інтелектуальний капітал вважається найбільш важливим активом багатьох найбільших і найбільш потужних світових компаній. Він служить основою для домінування на ринку та забезпечення постійної прибутковості провідних корпорацій. Інтелектуальна власність як одна з основних складових інтелектуального капіталу також привертає все більшу увагу як науковців, так і ділових кіл.