

УДК 004.827+004.89



З.Л. Рибчак

Національний університет «Львівська Політехніка»,
м. Львів, Україна zoriana.rybchak@gmail.com

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ ПЛАНУ ПЕРШОЧЕРГОВОСТІ РЕМОНТУ ДОРІГ В МЕЖАХ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ

В роботі запропоновано розв'язання задачі ефективного розподілу коштів для ремонту доріг на кількарічний період. Розглянуто моделювання ремонту доріг територіальної громади при наявності коштів та в залежності від стану доріг. Для моделювання запропоновано використати метод пошуку мінімального кістякового дерева на основі модифікації алгоритму Пріма.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ГРАФ, АЛГОРИТМ ПРИМА, КІСТЯКОВЕ ДЕРЕВО, ТЕРИТОРІАЛЬНА ГРОМАДА, НАСЕЛЕНИЙ ПУНКТ

Rybchak Z. Methods and means of modeling the plan for priority repair of roads within the territorial community. The paper proposes the solution of the problem of efficient allocation of funds for repair of roads for a period of several years. The simulation of the repair of the roads of the territorial community with the availability of funds and depending on the state of roads is debated. For modeling, it is proposed to use the search method for the minimal skeletal tree based on the modification of the Prima algorithm..

MATHEMATICAL MODELING, GRAPH, ALGORITHM PRIMA, CASTLE TREE, TERRITORIAL COMMUNITY, POPULATION ITEM

Рибчак З.Л. Методы и средства моделирования плана первоочередности ремонта дорог в пределах территориальной общины. В работе предложено решение задачи эффективного распределения средств для ремонта дорог на многолетний период. Рассмотрено моделирование ремонта дорог территориальной общины при наличии средств и в зависимости от состояния дорог. Для моделирования предложено использовать метод поиска минимального скелетного дерева на основе модификации алгоритма Прима.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ГРАФ, АЛГОРИТМ ПРИМА, ОСТОВНОЕ ДЕРЕВО, ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ ОБЩИНЫ, НАСЕЛЕННЫЙ ПУНКТ

Вступ

На сьогодні в Україні спостерігається тенденція до децентралізації влади і об'єднання декількох населених пунктів, формуючи таким чином спроможну територіальну громаду (ТГ). Парламентом 5 лютого 2015 року було схвалено Закон України «Про добровільне об'єднання територіальних громад» [1], а Урядом, для забезпечення його реалізації, затверджено Методику формування спроможних територіальних (постанова Кабінету Міністрів України № 214 від 08.04.2015) [2]. Яким чином має відбуватись об'єднання громад для того, щоб вони стали спроможними, визначають активи затвержені у Методиці формування.

Схвалюючи перспективний план формування спроможної територіальної громади та здійснюючи розподіл ресурсів між громадами, робочим групам слід керуватись затвердженою Методикою формування спроможних ТГ. Таким чином, враховуючи фінансове забезпечення, громада зможе самостійно або через відповідні органи місцевого самоврядування забезпечувати належний рівень надання послуг, зокрема, у сфері освіти, культури, охорони здоров'я, соціального захисту, житлово-комунального господарства [2].

Практична реалізація процесу об'єднання територіальних громад розпочалась в середині 2015 року. У 2015 році було утворено 159 ОТГ, що об'єднали 793 територіальні громади

У 2016 році відбувся суттєвий прогрес у формуванні ОТГ – їхня кількість зростає у 2,3 рази. Таким чином, станом на початок 2017 р. в Україні налічувалось 366 ОТГ, які об'єднали 1740 місцевих рад, в яких проведено перші місцеві вибори.

У 2017 році після прийняття низки законів, що врегулювали проблемні питання об'єднання, процес формування ОТГ отримав новий імпульс до активізації. 30 квітня 2017 року відбулись перші місцеві вибори ще у 47 ОТГ.

Таким чином, станом на кінець травня 2017 року в Україні утворено 413 ОТГ, що об'єднали 5258 населених пунктів, і в яких відбулись перші вибори органів місцевого самоврядування [17].

Станом на сьогодні в Україні утворено 705 ОТГ (рис. 1.1), у яких відбулись перші вибори та 126, які очікують рішення про призначення

перших виборів. Складовою територіальних громад (ТГ) є населений пункт (НП), тобто $ТГ = \{НП_1, НП_2, \dots, НП_N\}$. Виникає проблема дорожнього зв'язку між центром ТГ та її НП. Очевидно, що окремі НП зв'язані між собою дорогами (у цій роботі розглянуті лише автомобільні дороги). Стан 95% автодоріг — непридатні для використання. Оскільки протягом кількох останніх років, а подекуди — й більше, витрати на ремонт і будівництво автомобільних шляхів в Україні не забезпечували відновлення їх належного стану. Утім, слід наголосити, що останніми роками уряд

суттєво збільшив витрати на ремонт і будівництво автомобільних шляхів та взявся за наведення ладу в автодорожньому господарстві. Однак, враховуючи застарілість цієї проблеми і масштаби країни, стає очевидним, що розв'язання проблем, накопичених у цій сфері української економіки, вимагатиме величезних коштів протягом вельми значного періоду часу [3].

Все це зумовлює актуальність теми дослідження та розв'язання задачі ефективного розподілу коштів для ремонту доріг на кількарічний період.

1. Аналіз останніх досліджень і публікацій Постановка задачі

На сьогодні реформа децентралізації отримала доволі широку підтримку громадськості та експертного середовища України.

Більшість територіальних громад України, маючи право вирішувати питання місцевого значення, неспроможна їх виконувати через брак власних коштів, занепад або відсутність інфраструктури (необхідних будівель, споруд, доріг тощо), а також брак кадрів відповідної кваліфікації.

Метою закону є добровільне об'єднання територіальних громад, які здатні самостійно вирішувати питання розвитку своїх територій, створення спроможних територіальних громад, які в інтересах місцевого населення безпосередньо та через органи місцевого самоврядування на підставі закону можуть здійснювати регулювання і управління істотною частиною суспільних справ, що належать до їхніх повноважень. Закон передбачає, що територіальні громади, наділені достатніми фінансовими, інфраструктурними та кадровими ресурсами, надаватимуть якісні послуги у сфері освіти, культури, медицини, соціального захисту, житлово-комунального господарства, забезпечення охорони громадського порядку тощо.

Під час децентралізації влади та проведення адміністративно-територіальних реформ в різних країнах виникають різні не вирішені задачі. Тому проблема даного дослідження ще ніким не вирішена. При ОДА були сформовані громадські організації, які б мали виробити методику формування територіальної громади.

2. Постановка задачі

У реальній практиці досить важко сформувавши спроможну громаду через наявність багатьох ключових факторів формування громади: неможливість забезпечення на належному рівні надання вторинної медичної допомоги та спеціалізованої освіти; потреба в приміщеннях для розміщення установ; складне географічне положення, яке має враховувати щоденні міграції мешканців в межах зони доступності адміністративного центру.

Тому на сьогоднішній день основними проблемами реформи є:

1. Правильний розподіл ресурсів для мінімізації фінансування з боку держави;

2. Організація перспективних планів об'єднання у всіх районах України з визначенням потенційного центру громади із врахуванням доступності послуг у відповідних сферах на території спроможної ТГ та з умовою наявності середньої школи і амбулаторії в зоні доступності.

Порушення методики формування може призвести до непередбачуваного обороту фінансів у громаді, а також до виникнення «білих плям» — це випадки, коли зона доступності до потенційних центрів не покриває всю територію області. Відстань від центру громади до її найвіддаленішого населеного пункту має бути такою, щоб у екстрених випадках її не довше ніж за 30 хвилин могли подолати пожежна команда, швидка допомога, поліцейський патруль. Допомога, що буде надана через більший проміжок часу різко втрачає ефективність.

Не вирішеною на сьогодні є задача моделювання плану ремонту доріг. Задачу можна вирішити модифікувавши алгоритм Пріма. Дослідженнями оптимізації та модифікації алгоритму Пріма займалися Свами М., Макконелл Дж., Копилова В., Титенко С. та інші [8].

Алгоритм Пріма поступово будує шуканий мінімальний остов, додаючи до нього по одному ребру на кожному кроці. На початку роботи алгоритму результуюче дерево складається з однієї вершини, її обираємо довільно. Алгоритм складається з $N-1$ ітерацій, на кожній з яких до дерева додається рівно одне ребро, не порушуючи властивості дерева. Основний момент — з усіх таких ребер кожен раз вибирається ребро з мінімальною вагою.

Якщо для алгоритму Пріма додати ще один ітераційний процес, метою якого буде зменшення розмірності початкового графу за рахунок відкидання ребер, які не будуть відображені у кінцевому дереві. Потрібно обов'язково перевірити, щоб при відкиданні у графа не з'являлись ізольовані вершини. Складність запропонованого алгоритму в n разів більша за алгоритм Пріма, оскільки додається ще один цикл, тобто становитиме $O(n^2 \cdot \ln n)$.

3. Основні результати досліджень

Для розв'язку задачі ефективного розподілу коштів для ремонту доріг на кількарічний період, необхідно знати стан дороги та її покриття, підпорядкованості дороги та виділено на ремонт бюджету.

Дорогу між двома різними населеними пунктами (НП) будемо розглядати як окрему дорогу.

Якщо є розвилки доріг поза межами НП, то в місці такої розвилки вводимо фіктивні НП (ФНП). Дороги мають різне підпорядкування, та стан. Підпорядкованість визначає за який саме бюджет ця дорога буде ремонтуватись.

Стан дороги визначає необхідний кошторис на ремонт відповідної дороги. Існує таких п'ять станів:

- 1) видимі незначні дефекти і, необхідність ремонту до 5 %;
- 2) шелушіння, окремі нерівності покриття, частково присутні тріщини та невеликі вибоїни, необхідність ремонту до 25 %;
- 3) викрішування, раковини, зсуви, просідання, незначно виражена колійність, руйнування кромок дорожнього покриття, граней бетонного покриття, бордюрів, необхідність ремонту до 50 %;
- 4) вибоїни, проломи, великі ями, значна колійність, місцями пересування значно ускладнено, необхідність ремонту до 75 %;
- 5) базовий тип покриття практично відсутній, явно виражена колійність, пересування значно ускладнено, необхідність ремонту до 100 %.

Розрізняють 6 різних типів покриття: асфальтобетонне, цементно-бетонне, залізобетонне, бруківка, гравійне, ґрунтове.

Підпорядкованість визначає за який саме бюджет ця дорога буде ремонтуватись. Як правило, існують три бюджети: B_1 — загальнодержавний бюджет, B_2 — обласний бюджет, B_3 — бюджет ТГ.

Нехай за бюджетом B_j було виділено W_j коштів.

При розрахунку вартості ремонту доріг визначалась ціна ремонту ста метрів дороги. Врахувався стан дороги, який множиться на певний коефіцієнт. Розроблений калькулятор знаходиться за

адресою: <http://www.roadcost.96.lt/>. Розроблений модуль дає змогу фільтрувати вартість ремонту доріг в межах ТГ за такими параметрами: тип дороги, тип покриття, стан дороги.

На рис. 1 зображено приклад обчислення вартості доріг.

Дорогу між двома різними населеними пунктами (НП) будемо розглядати як окрему дорогу. Якщо є розвилки доріг поза межами НП, то в місці такої розвилки вводимо фіктивні НП (ФНП).

Отримуємо зважений граф, $G=(НП, E)$ вершинами якого є НП та ФНП, а ребра $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ задають кошторис $w(e_i)$, необхідний на ремонт дороги між відповідними НП [5-6]. Тобто, маємо N НП, які об'єднані дорогами. Очевидно, що для цього достатньо відремонтувати $N-1$ доріг між НП.

Виникає задача: для того щоб сумарна вартість ремонту доріг була мінімальна й вартість ремонту доріг не перевищувала відповідний бюджет, як можна об'єднати НП між собою в межах ТГ,

Тобто всі ребра поділимо на 3 підмножини в залежності від виду бюджету $E = E_1 \cup E_2 \cup E_3$, $E_j = \{e_1^j, e_2^j, \dots, e_{n_j}^j\}$, $j = 1, 2, 3$.

Задача полягає в знаходженні такого зв'язаного ациклічного підграфу $T \subset G$, який містить всі вершини, щоб сумарна вага всіх його ребер була мінімальною при умові, що сумарна вага ребер, які належать до одного бюджету не перевищувала розмір цього бюджету.

Оскільки T зв'язаний й не містить циклів, він є деревом й називається остовним деревом (spanning tree) [7-9]. Остовне дерево T , в якого сумарна вага його ребер $w(T) = \sum_{e_i \in T} w(e_i)$ мінімальна, називається

Номер	Тип покриття	Вартість (грн)
1	Цементобетонне	6055
2	Залізобетонне	45
3	Бруківка	30
4	Асфальтобетонне	115
5	Гравійне	15
6	Ґрунтове	581

Номер	Стан дороги	Коеф.
1	Видимі незначні дефекти, необхідність ремонту до 5 % ...	2.11
2	Шелушіння, окремі нерівності покриття, частково присутні тріщини...	2.6
3	Викрішування, раковини, зсуви, просідання, незначно виражена колі...	4.11
4	Вибоїни, проломи, великі ями, значна колійність, місцями пересува...	4.11
5	Базовий тип покриття практично відсутній, явно виражена колійніс...	5.11

Дорога	Відстань (м)	Тип дороги	Тип покриття	Стан	Пріоритет	Вартість (грн)
Березина - Вибранівка	3700	Територіальна районного значення	Асфальтобетонне	5	2	21743.05
Вибранівка - Загірці	2700	Територіальна районного значення	Асфальтобетонне	5	2	15866.55
Бринці-Церковні - Чижалці	1300	Територіальна районного значення	Гравійне	4	2	801.45
Чижалці - Борусів	1500	Територіальна районного значення	Гравійне	4	2	924.75
Борусів - Бориничі	1300	Територіальна районного значення	Гравійне	4	2	801.45
Вибранівка - Бринці-Церковні	1200	Територіальна районного значення	Гравійне	5	2	919.8
Холі - Юшківці	4000	Територіальна районного значення	Гравійне	4	3	2466
Девятишки - Юшківці	2000	Територіальна районного значення	Асфальтобетонне	5	2	11753

Рис. 1. Приклад обчислення вартості доріг

мінімальним остовним деревом (minimum spanning tree). Частина дерева T , що містить ребра з підмножини E_j позначатимемо T_j , $T = T_1 \cup T_2 \cup T_3$. Тим самим отримаємо таку математичну модель задачі: знайти $T \subset G$, щоб

$$w(T) = \sum_{e_i \in T} w(e_i) \rightarrow \min \quad (1)$$

$$w(T_j) = \sum_{e_s^j \in T_j} w(e_s^j) \leq W_j, j=1,2,3 \quad (2)$$

4. Модифікація алгоритму Пріма

Алгоритми Пріма або Крускала використовуються для того, щоб знайти мінімальне кістякове дерево [6-7]. Алгоритм Пріма — алгоритм побудови мінімального кістякового дерева зваженого зв'язного неорієнтованого графа. Це жадібний алгоритм.

Побудова починається з дерева, що включає в себе одну (довільну) вершину. Протягом роботи алгоритму дерево розростається, поки не охопить всі вершини вихідного графа. На кожному кроці алгоритму до поточного дереву приєднується найлегше з ребер, що з'єднують вершину з побудованого дерева і вершину, що не належить дереву

Для розв'язування задачі (1)-(2) модифіковано алгоритм Пріма. Модифікація полягає в ітераційному використанні алгоритму Пріма, поки не буде виконана умова (2).

Якщо умова (2) не виконується, то із початкового графа G вилучаємо ребро із максимальною вагою серед підмножини ребер для яких не виконується (2) із максимальною різницею між наявним бюджетом та необхідним коштом на ремонт доріг. Ребро вилучаємо із умовою, що граф G залишається зв'язним, тобто не має ізольованих вершин. Якщо такого ребра немає, то задача (1)-(2) немає розв'язку.

Отримаємо такий алгоритм визначення доріг, які необхідно відремонтувати в межах ТГ:

1) Утворити граф G , вершинами якого є НП ТГ, а ребра задають вартість ремонту доріг між НП ТГ. Відомі кошти, які закладені у бюджетах на ремонт доріг, W_1, W_2, W_3 .

2) Запустити алгоритм Пріма для графу G :

2.1. Утворимо дерево T_1 з одним ребром:

- виберемо його вершиною НП₀ центр ТГ;
- виберемо ребро e_1 з найменшою вагою серед тих, що мають вершину НП₀;
- покладемо $k = 1$.

2.2. Якщо існують вершини початкового графа G зовні останнього побудованого дерева T_k з ребрами e_1, e_2, \dots, e_k , то робимо таке:

- вибираємо ребро e_{k+1} з найменшою вагою серед тих, у яких одна вершина належить до T_k , а інша вершина не належить;

– утворюємо дерево T_{k+1} долученням до T_k вибраного ребра e_{k+1} і його вершин;

– збільшуємо величину k на 1;

2.3. Якщо всі вершини початкового графа G належать до дерева T_k , то припиняємо побудову мінімального остовного дерева, інакше переходимо на пункт 2.2

3) Для дерева T_k знаходимо вартості ремонту доріг за 3-ма підмножинами: $w(T_j) = \sum_{e_s^j \in T_j} w(e_s^j)$, $j=1,2,3$.

4) Обчислюємо значення $\Delta_j = W_j - w(T_j)$, $j=1,2,3$.

5. Якщо всі $\Delta_j \geq 0$, то дерево (план ремонту доріг) знайдено, інакше серед множини E_1 , де $l = \arg \max_{\Delta_j < 0} |\Delta_j|$, вилучаємо ребро з максимальною вагою серед підмножини ребер E_1 , після вилучення яких граф G залишається зв'язним й переходимо до п.2. Якщо ребер, після вилучення яких граф G залишається зв'язним, немає, то плану ремонту доріг для таких початкових значень не існує. Необхідно збільшувати бюджети для яких $\Delta_j < 0$.

Тобто в алгоритм Пріма додано ще один ітераційний процес, мета якого зменшення розмірності початкового графу за рахунок відкидання ребер, які не будуть відображені у кінцевому дереві. Дуже важливо перевіряти, щоб у графа при такому відкиданні не з'являлись ізольовані вершини, бо інакше в населений пункт, який задає така вершина, добратись буде неможливо. Складність запропонованого алгоритму в n разів більша за алгоритм Пріма, оскільки додається ще один цикл, тобто становитиме $O(n^2 \cdot \ln n)$.

5. Приклад моделювання плану ремонту доріг у Львівській області

Практична реалізація процесу об'єднання територіальних громад розпочалась в середині 2015 року. У липні 2016 року Кабінет міністрів України затвердив перспективний план формування громад у Львівській області. Згідно з ним у регіоні затвердили 84 об'єднані територіальні громади. Це громади, які діють із 2016 та перспективні ОТГ.

17 серпня 2016 року у Львівській обласній державній адміністрації було підписано розпорядження про створення Давидівської територіальної громади. Вона складається з таких населених пунктів: Пасіки-Зубрицькі, Кротошин, Черепин, Давидів, Гончари, Виннички, Дмитровичі, Соснівка, Чишки, Волиця, Бережани, Горішній. Граф доріг територіальної громади наведено на рис. 2.

Чорними точками позначено НП, білими — ФНП (перехрестя доріг поза НП).

Дороги належать до 3 підмножин: E_1 — загальнодержавного підпорядкування (червоний колір, ремонт здійснено ще у 2011 році перед ЧЄ

з футболу), E_2 — обласного підпорядкування (синій колір) E_3 — районного підпорядкування (чорний колір).

На графі задана вартість доріг (дані — експериментальні). Взявши, що $W_1=30$, $W_2=30$, $W_3=22$, отримаємо пропонувані план ремонту доріг, який наведений на рис. 3. Якщо б не враховувалось те, що підмножини ребер різні, то за алгоритмом Пріма у Виннички пропонувалось б доїзжати із Гончарів. Однак через обмеження на бюджет, рекомендується ремонтувати дорогу із множини E_2 і у Виннички їздити із перехрестя дороги, що йде на Дмитровичі.

Загалом за множинами виходить така вартість ремонту доріг:

$$w(T_1) = 0, w(T_2) = 28 < 30, w(T_3) = 21 < 22.$$

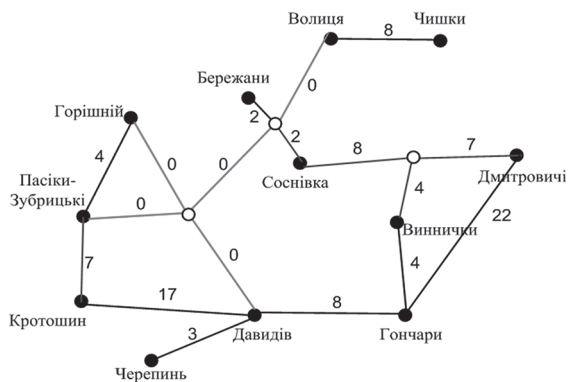


Рис. 2. Граф доріг Давидівської територіальної громади

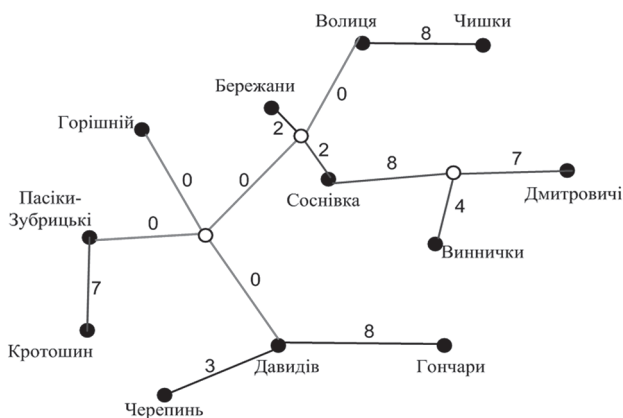


Рис. 3. Пропонувані план ремонту доріг Давидівської територіальної громади

Висновки

У даній роботі розглянуто моделювання ремонту доріг територіальної громади при наявності коштів та в залежності від стану та покриття доріг, їх підпорядкованості та бюджету. Запропоновано використати модифікацію алгоритму Пріма.

На сьогодні ця задача стає актуальною, оскільки процес формування громад та їхній розвиток є важливим завданням. В межах територіальної громади знаходяться важливі адміністративні будівлі, лікарня, школи, тощо. Тому доїзд до цих закладів в межах громади є суттєвою проблемою, зважаючи на стан доріг, адже значна частина доріг є в незадовільному стані. Запропоновано розв'язувати класичну задачу пошуку мінімального остовного дерева з врахуванням специфіки підпорядкування доріг, стану та покриття доріг, бюджету.

Наведено приклад використання запропонованого підходу в межах Давидівської територіальної громади. У подальших дослідженнях планується враховувати ще один показник, який суттєво впливає на визначення доріг, які підлягають якнайшвидшому ремонту, а саме — пріоритет дороги (1 — дорога має стратегічно важливе значення, з трафіком понад 500 автотранспортних засобів за добу; 2 — дорога має важливе значення, з трафіком руху від 100 до 500 автотранспортних засобів за добу; 3 — дорога має другорядне значення, з трафіком руху менше 100 автотранспортних засобів за добу). Тим самим дослідження полягатимуть в побудові інтегральної функції оцінки ребра початкового зваженого графу G , який зв'язує певні два населені пункти, де буде враховуватися не лише вартість ремонту дороги, але й її пріоритет.

Список літератури:

1. Закон України (2015). Про добровільне об'єднання територіальних громад. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/157-19>.
2. Постанова Кабінету Міністрів України Про затвердження Методики формування спроможних територіальних громад. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/214-2015-п>.
3. Стан українських доріг [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://censor.net.ua/news/430063/95_ukrainskih_dorog_ostayutsya_v_nepriygodnom_sostoyanii_omelyan.
4. Ремонти доріг [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://censor.net.ua/news/430172/ukravtodoru_nado_organizatsionno_pravilno_rabotat_95_dorog_nahodyatsya_v_ujasnom_sostoyanii_groyisman.
5. В.В. Литвин, Д.І. Угрин, А.М. Фітьо, «Моделювання процесу формування територіальних громад як задачі розбиття графу», Східно-Європейський журнал передових технологій, №1/4(79), С.47-52, 2016.
6. В.В. Литвин, Д.І. Угрин, А.М. Фітьо «Формалізація задачі формування територіальних громад», 11 Міжнародна науково-практична конференція „Математичне та імітаційне моделювання систем МОДС” (27 червня — 1 липня 2016). — Жукин. — С. 290-292.
7. Макконелл Дж., «Основи сучасних алгоритмів: 2-е доповнене видання», М.: Техносфера, 2014, 368 с.
8. М. Свами, К. Тхуласираман «Графи, сети и алгоритмы», М.: Наука, 2014, 256 с.

Надійшла до редколегії 11.04.2018