

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 519.866:658.264

<https://doi.org/10.32782/2224-6282/164-26>

Ющенко Н. Л.

кандидат економічних наук, доцент,
Хмельницький національний університет
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5213-8341>

Yushchenko Nadiia

Khmelnitskyi National University

МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ В РЕГУЛЮВАННІ КОМПЛЕКСУ РОБІТ З МОДЕРНІЗАЦІЇ СЕКТОРУ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Стаття присвячена систематизації й огляду таких методів розрахунку параметрів мережі (сітьового графіка) як аналітичний, матричний, табличний та із застосуванням ЕОМ. Обґрунтовується доцільність адаптації їх до практики ефективного планування і управління модернізацією, реконструкцією та заміною технологічного обладнання теплових пунктів і теплових мереж підприємств теплоенергетики з метою зниження витрат при виробництві, передачі та розподіленні теплової енергії на виконання Енергетичної стратегії України на період до 2035 року. Використання існуючих в теорії планування і управління мережами економіко-математичних моделей, методів і відповідного програмного забезпечення допоможе генерувати інваріанти управлінських рішень, що стосуються істотних за обсягами, вартістю і часом робіт.

Ключові слова: енергоефективність, методи і моделі управління проектами, оптимізація, сітьова модель, сітьовий графік, теплопостачання.

METHODS FOR CALCULATING NETWORK PARAMETERS IN REGULATING THE COMPLEX OF WORKS ON MODERNIZATION OF THE HEAT SUPPLY SECTOR

In Ukraine, where, unlike the countries of the European Union that use district heating systems and have invested more than €80 billion in their modernization over the past 30 years, during 1990-2020 there was no necessary investment in the modernization of district heating systems, especially badly worn out heating systems combined heat and power plants and heating networks, losses of thermal energy in heat sources and networks are the largest in Europe, rational work is needed to further improve the technical level of heat supply systems based on innovative, highly efficient technologies and equipment; reduction of non-production losses of heat energy and fuel consumption; ensuring controllability, reliability, safety and efficiency of heat supply; reducing the negative impact on the environment. And in this case, the planning of works that are significant in terms of volume, cost and time becomes especially relevant to the use of economic and mathematical models and methods existing in the theory of planning and network management, such as the Critical Path Method, Program Evaluation and Review Technique, Graphical Evaluation and Review Technique, which involve working with networks, and related software like Project Standard, Open Plan, Primavera Project Planner, SureTrak Project Manager and others that will help generate invariants of management decisions regarding the sequencing and timing of use limited resources throughout the entire period of the project, dynamically adjust the timing of the start of each type of work, carry out the optimal distribution of funds allocated to the project in terms of reducing the duration of the entire project, analyze the trade-off relationships between the costs and timing of various works, taking into account the available reserve of time, when it comes to a large number of interrelated works that must be performed in a strict technological sequence, require timing and control in order to achieve the task. The article is devoted to the systematization and review of such methods for calculating network parameters (network graphics) such as analytical, matrix, tabular and with the use of electronic computers (computers). The expediency of adapting them to the practice of effective planning and management of modernization, reconstruction and replacement of technological equipment of heat points and heating networks of heat power enterprises in order to reduce costs in the production, transmission and distribution of heat energy for the implementation of the Energy Strategy of Ukraine for the period up to 2035 is substantiated.

Keywords: energy efficiency, project management methods and models, optimization, network model, network schedule, heat supply.

JEL Classification: C13, C41, Q48, R15

Постановка проблеми. Енергоефективність та ощадливе використання ресурсів є одним із найголовніших напрямів «зеленого» енергетичного переходу України [1] і пріоритетом Уряду, для реалізації якого

потребують впровадження політика і заходи, зокрема, спрямовані на проведення масштабної модернізації в теплоенергетиці (обов'язково з урахуванням критеріїв енергоефективності та екологічності), де зноше-

ність магістральних і розподільних мереж досягає 70% їх загальної протяжності, витрата тепла на опалення об'єктів такої ж площі в Україні в 2–3 рази перевищують рівень країн Західної Європи, взагалі втрати теплової енергії в генерації сягають 30%. До будинків корисно доходить 55 зі 100 м³ газу, спалених в котельнях. Втрати транспортування 25–40%, фактично корисно використовується 21 зі 100 спалених м³ газу. Втрати в будівлях сягають 77% від отриманого тепла з котельень, корисно виходить 70 зі 100 м³ спаленого газу [2].

В планах Кабінету Міністрів України модернізація сектору, підвищення його інвестиційної привабливості, створення умов для сталого енергетичного розвитку, якісне підвищення економічної, енергетичної та екологічної безпеки країни загалом через врегулювання діяльності підприємств у сферах теплопостачання, централізованого водопостачання та водовідведення шляхом передачі повноважень з регулювання такої діяльності на місцевий рівень, що дасть змогу органам місцевого самоврядування ефективно розпоряджатися майном, що перебуває у власності територіальної громади, враховувати потреби споживачів та визначати напрям розвитку підприємств з урахуванням потреб громади, а також проведення технічного та економічного аналізу щодо актуального стану та перспектив оптимального розвитку теплопостачання з урахуванням можливості інтеграції відновлюваних джерел енергії у 121 населеному пункті України, де наявне централізоване теплопостачання, розроблення інвестиційних планів здійснення заходів з конкретними показниками щодо складу джерел енергії [3]. В плануванні й регулюванні виконання істотних за обсягами, вартістю і часом робіт доцільним стає використання економіко-математичного інструментарію теорії планування та управління мережами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наукові праці таких дослідників, як П. Лазановський [4], Я. Сибаль, І. Іваницький, З. Кадюк [5], В. Сохань [6] та інших, присвячені застосуванню методу планування та управління мережами в різних видах економічної діяльності. Аналізуючи останні публікації, необхідно зазначити, що багато суттєвих аспектів даного питання було розглянуто науковцями, більшістю з них надані практичні рекомендації. Проте є практично значущим і потребує розробки завдання моделювання на базі теорії графів та аналізу мереж системи централізованого теплопостачання в Україні з метою зниження рівня втрат енергоресурсів в мережах та забезпечення керованості, надійності, безпечності та економічності теплопостачання.

Постановка завдання. В статті систематизовані й проаналізовані основні методи розрахунку параметрів мережі (сітьового графіка): аналітичний, матричний, табличний та із застосуванням ЕОМ, що актуальні в плануванні і управлінні ресурсами і витратами при модернізації систем централізованого теплопостачання, зокрема, міських тепломереж територіальних громад в умовах завершення процесів децентралізації та реформ самоврядування в Україні.

Виклад основного матеріалу дослідження. Методи сітьового планування і управління (СПУ) – система, що поєднує розрахункові методи, організаційні заходи і прийоми контролю, спрямовані на розробку і оптимізацію плану виконання комплексу робіт, оперативне

управління ним та систематичний контроль за його ходом. Комплексом робіт називають певну сукупність послідовно і паралельно виконуваних робіт, спрямованих на досягнення намічених цілей. Комплекси робіт, які є об'єктами СПУ, мають наступні властивості: роботи, що входять в комплекс, взаємно обумовлюють одна одну, тобто одні роботи не можуть бути розпочаті раніше, ніж завершаться деякі інші роботи; в певних інтервалах часу окремі роботи можна починати й завершувати незалежно одна від одної (за наявності відповідних ресурсів); існують одна або кілька цілей функціонування комплексу робіт.

Відмінною рисою СПУ є представлення планів робіт у вигляді сітьових графіків (схем). Сітьовий графік – це графічна модель виконання комплексу робіт, що відображає взаємозв'язок між окремими роботами, їх параметри та послідовність виконання.

З метою покращення організації комплексу робіт з урахуванням термінів їх виконання і раціонального використання трудових, фінансових і матеріальних ресурсів після побудови сітьового графіка і розрахунку його параметрів, що надають початкову інформацію для головного етапу, здійснюється оптимізація сітьового графіка. В процесі її параметри сітьової моделі приводять у відповідність заданим обмеженням. Метод оптимізації залежить від характеру задачі і типу сітьової моделі. Оптимізацію можна проводити за наступними критеріями: за критерієм часу без врахування обмежених ресурсів, що може проводитися за рахунок скорочення тривалості критичних робіт або методом зміни топології мережі, або методом деталізації робіт; за критерієм часу з урахуванням залучення додаткових ресурсів методом «вартість-час», методом лінійного програмування, методом перерозподілу ресурсів; за критерієм ресурсів. Аспектам класифікації методів оптимізації сітьового графіка присвячена робота [7].

Основні параметри, необхідні для аналізу й оптимізації сітьового графіка, – це критичний шлях, ранні і пізні строки, відповідно, початку і закінчення робіт та резерви часу для робіт, не розміщених на критичному шляху [8]. При застосуванні мережових методів мінімальна тривалість проекту визначається послідовністю робіт, що утворюють найдовший, так званий, критичний шлях через мережу, а роботи, які його утворюють, називаються критичними роботами і будь-яке збільшення їх тривалості чи затримка виконання спричинюють збільшення часу реалізації проекту в цілому. Наявність резерву часу надаватиме певну свободу розподілу ресурсів.

Для розрахунку параметрів мережі можуть бути використані аналітичний метод, матричний метод, табличний та із застосуванням ЕОМ. Зокрема, аналітичний метод розрахунку базується на залежностях, що впливають з визначень параметрів. Наприклад, ранній строк звершення j -ї події t_j^p – це термін, необхідний для виконання всіх робіт, що відбуваються напередодні даної події. Він дорівнює сумі тривалостей всіх робіт, розміщених на найбільш тривалому шляху від вихідної події мережі до тої, що розглядається:

$$t_j^p = \max L(0 \div j) \text{ або } t_j^p = \max (t_i^p + t_{ij}),$$

де $j, 0, i$ – відповідно, номери події, що розглядається, вихідної та попередньої до j -ї події;

$L(0 \div j)$ – шлях від вихідної події до j -ї;

t_i^p – ранній строк настання попередньої i -ї події;
 t_{ij} – тривалість роботи між попередньою i -тою подією та даною j -тою.

Прийнявши, що ранній термін здійснення вихідної події дорівнює нулю (т. б. $t_0^p = 0$), можна послідовно визначити всі значення t_j^p .

Оскільки на сітьовому графіку будь-який повний шлях менший за критичний, то терміни здійснення подій на некритичних шляхах можуть бути зміщені. Це дозволяє визначити пізні терміни здійснення кожної події i (t_i^n). Дещо складніше визначити t_j^n , якщо з i -тої події (попередньої) виходять дві роботи. В такому випадку пізній строк дорівнює різниці між тривалістю критичного шляху t_{kr} та максимального з наступних за i -тою подією шляху $T_i^{m.n.}$.

Таким чином, під пізнім терміном здійснення події розуміють строк, перевищення якого викликає відповідне збільшення тривалості розробки. Для будь-якої попередньої i -тої події його можна визначити за формулою

$$t_i^n = \min(t_j^n - t_{ij}),$$

де t_j^n – пізній термін здійснення j -тої події, що є наступною відносно i -тої події ($j \geq 1$).

Розрахунок за даною формулою виконують починаючи з кінцевої події, для якої $t_{kr}^n = t_{kr}^p$.

Для кожної роботи можна також визначити ранні терміни початку $t_{ij}^{p.n.} = t_i^p$ і закінчення роботи $t_{ij}^{p.k.} = t_{ij}^{p.n.} + t_{ij}$, а також пізні терміни закінчення $t_{ij}^{n.k.} = t_j^n$ і початку роботи $t_{ij}^{n.n.} = t_j^n - t_{ij}$ (або $t_{ij}^{n.n.} = t_j^{n.k.} - t_{ij}$).

Події, в яких ранні та пізні терміни співпадають (т. б. $t_i^p = t_i^n$), лежать на критичному шляху. Всі події, що не лежать на критичному шляху, мають різні пізні та ранні строки здійснення кожної події. Це означає, що звернення i -тої події можна затримати на деякий граничний період $t_i^n - t_i^p$, не збільшуючи строку виконання всієї розробки. Величину $t_i^n - t_i^p$ називають резервом часу події i (R_i).

Як відомо, довжина критичного шляху T_{kr} більша за довжину будь-якого іншого шляху T_μ сітьового графіка. Різниця $T_{kr} - T_\mu$ називається повним резервом часу шляху L_μ і позначається R_μ^t .

Повний резерв часу шляху L_μ можна використати цілком для однієї роботи або розподілити між роботами, що знаходяться на цьому шляху. При цьому розподіл може бути виконано в межах повних резервів часу цих робіт R_{ij}^n .

Повний резерв часу роботи $i - j$ утворюється, якщо попередня подія i здійснюється в ранній термін, а наступна – в пізній:

$$R_{ij}^n = t_j^n - t_i^p - t_{ij} \quad (\text{або } R_{ij}^n = t_{ij}^{n.n.} - t_{ij}^{p.n.}).$$

Він показує максимальний строк, на який можна перенести початок роботи або збільшити її тривалість, не змінюючи строку виконання всієї розробки.

Ще одним важливим резервом часу робіт є вільний резерв R_{ij}^s – максимальний час, на який можна відтермінувати початок або збільшити тривалість роботи за умови, що всі події мережі настають в свої ранні терміни:

$$R_{ij}^s = t_j^p - t_i^p - t_{ij}.$$

Вільний резерв – це незалежний резерв. Його використання для будь-якої роботи не змінює вели-

чини вільних резервів решти робіт мережі. Резерви часу робіт використовуються при оптимізації сітьових графіків.

Слід відмітити, що, крім критичних, виділяють ще підкритичні роботи. В них повний резерв відрізняється від мінімального не більше, ніж на задану величину δ . Тому навіть при невеликих відхиленнях від термінів виконання підкритичні роботи стають критичними.

Матриця для розрахунку параметрів сітьового графіка (табл. 1) матричним методом містить n рядків і n стовбців (n – кількість подій в мережі). Клітинки, розташовані на головній діагоналі, виділяють жирним контуром і називають головними, розташовані вище головних – верхніми, а нижче – нижніми. Для верхніх клітинок номер рядка відповідає номеру попередньої події певної роботи, а номер стовпця – номеру наступної події, для нижніх клітинок – навпаки.

Тривалість кожної роботи вказують в чисельниках тих клітинок, номери рядків і стовбців яких співпадають відповідно з номерами попередньої і та наступної j подій даної роботи. Наприклад, тривалість роботи 1–6 ($t_{16} = 3$) вказують у верхній клітинці з номерами рядка $i = 1$ та стовпця $j = 6$, а також в нижній з номером рядка $i = 6$ і стовпця $j = 1$.

Спочатку визначають значення знаменників верхніх клітинок (в яких вже проставлені чисельники). Для цього в першу головну клітинку ($i = 0, j = 0$) записують нуль (т. б. значення раннього строку звернення вихідної події), а в знаменники клітинок рядка $i = 0$ – суми $t_{ij} + 0 = t_{ij}^{p.k.}$. Потім в чисельнику головної клітинки (1,1) записують знаменник верхньої клітинки (0,1), що дорівнює 12. Додаючи цю величину до чисельників верхніх клітинок рядка $i = 1$, отримують знаменники для відповідних клітинок. Наприклад, знаменник клітинки (1,6) дорівнює $12 + t_{16} = 12 + 3 = 15$. Аналогічно розраховують знаменники верхніх клітинок решти рядків. При цьому потрібно враховувати, що якщо в стовбці є кілька заповнених верхніх клітинок, то чисельник головної клітинки цього стовпця відповідає максимальному з їх знаменників. Так, в стовбці $j = 7$ чисельник головної клітинки (7,7) дорівнює знаменнику клітинки (6,7). Отримані значення чисельників головних клітинок відповідають раннім термінам здійснення подій ($t_0^p = 0, t_1^p = 12, t_2^p = 5$ і т. д.), а знаменників верхніх клітинок – раннім строкам завершення відповідних робіт ($t_{01}^{p.k.} = 12, t_{02}^{p.k.} = 5, t_{16}^{p.k.} = 15$ і т. д.).

Далі визначають знаменники головних і нижніх клітинок. Розрахунки виконують, починаючи з останньої головної клітинки (8,8). Знаменник нижньої клітинки (8,7) останнього рядка знаходять віднімаючи значення її чисельника з величини головної клітинки цього ж рядка ($23 - 4 = 19$). Це число записують в знаменнику головної клітинки, розміщеної в стовбці $j = 7$. Для визначення знаменника кожної нижньої клітинки рядка $i = 7$ необхідно чисельник відповідної клітинки відняти від знаменника головної клітинки даного рядка. Чисельники клітинок (7,3), (7,4), (7,5) і (7,6) дорівнюють відповідно $19 - 2 = 17$; $19 - 1 = 18$; $19 - 3 = 16$; $19 - 4 = 15$. Подальші розрахунки проводять аналогічно. При цьому, якщо в стовбці є декілька заповнених нижніх клітинок, то знаменник відповідної головної клітинки дорівнює мінімальному з цих знаменників. Наприклад, в стовбці $j = 5$, де нижні клітинки (6,5) і

Таблиця 1

Матриця для розрахунку параметрів сітьового графіка

i	j								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	$\frac{12}{12}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{14}{14}$	$\frac{6}{6}$				
1	$\frac{12}{0}$	$\frac{12}{12}$					$\frac{3}{15}$		
2	$\frac{5}{8}$		$\frac{5}{13}$			$\frac{2}{7}$			
3	$\frac{14}{3}$			$\frac{14}{17}$				$\frac{2}{16}$	
4	$\frac{6}{12}$				$\frac{6}{18}$			$\frac{1}{7}$	
5			$\frac{2}{13}$			$\frac{7}{15}$	$\frac{0}{7}$	$\frac{3}{10}$	
6		$\frac{3}{12}$				$\frac{0}{15}$	$\frac{15}{15}$	$\frac{4}{19}$	
7				$\frac{2}{17}$	$\frac{1}{18}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{4}{15}$	$\frac{19}{19}$	$\frac{4}{23}$
8								$\frac{4}{19}$	23

(7,5) мають знаменники відповідно 15 і 16, в знаменник головної клітинки (5,5) запишеться менше з цих чисел – 15.

Знайдені таким чином знаменники головних клітинок відповідають пізнім термінам здійснень подій ($t_0^n = 0$; $t_1^n = 12$; $t_2^n = 13$ і т. д.), а знаменники нижніх клітинок – пізнім строкам початку відповідних робіт (т. б. $t_{20}^{n,n} = 8$, $t_{30}^{n,n} = 3$ і т. д.). Резерв часу для j -тої події дорівнює різниці між знаменником і чисельником головної клітинки, розміщеної на перетині рядка і стовпця з номером j . Резерви робіт легко визначити з відповідних залежностей.

Аналіз параметрів мережі дозволяє зосередити увагу на відносно невеликій кількості робіт, що не мають резервів часу (критичні роботи) або таких, що мають невеликий резерв (підкритичні). Роботи, що знаходяться на критичних і підкритичних шляхах, утворюють критичну зону.

Висновки. Оперативне управління комплексом робіт, в системі якого сітьові графіки відіграють важливу роль, передбачає контроль за виконанням робіт, виявлення і аналіз змін в стані комплексу, формування і реалізації рішень, спрямованих на ліквідацію негативних відхилень від програми. Процес управління включає періодично повторювані етапи: збирання і підготовку оперативної інформації щодо стану комплексу робіт (уточнення оцінок робіт, їх складу і змісту, фіксація фактичних параметрів робіт і т. д.); оновлення

моделей і підготовку даних для їх перерахунку (внесення нових робіт і подій, фіксація стану виконуваних і завершених робіт); перерахунок сітьових моделей (переважно на комп'ютері або вручну, що залежить від їх складності); аналіз фактичного стану комплексу робіт і підготовка рішень стосовно його подальшої реалізації; ухвалення рішень щодо подальшої реалізації комплексу, розробка оперативно-календарних планів і доведення їх до відповідальних виконавців.

Підготовка рішень з подальшої реалізації комплексу робіт має дуже важливе значення. Детальний аналіз скоригованої сітьової моделі та результатів її розрахунку дозволяє своєчасно виявити «вузькі місця» в поточному і перспективному ході робіт та розробити пропозиції спрямовані на їх усунення, тобто визначити регулюючі впливи.

Використання існуючих у теорії планування та управління мережами економіко-математичних моделей та методів критичного шляху, оцінки і перегляду планів, прийняття рішень щодо стохастичних GERT-мереж, що передбачають роботу з сітьовими графіками, та відповідного програмного забезпечення як Project Standard, Open Plan, Primavera Project Planner, SureTrak Project Manager та іншого, допомогатимуть генерувати інваріанти управлінських рішень щодо визначення послідовності і термінів використання обмежених ресурсів протягом усього періоду реалізації проекту, проводити динамічне регулювання термінів

початку кожного виду робіт, здійснювати оптимальний розподіл відведених на проект засобів за критерієм скорочення тривалості всього проекту, виконувати аналіз компромісних співвідношень між витратами і термінами виконання різних робіт з урахуванням наяв-

ного резерву часу, коли йдеться про велику кількість взаємопов'язаних робіт, що повинні виконуватись в суворій технологічній послідовності, потребують встановлення термінів і контролю з метою досягнення поставленої цілі.

Список використаних джерел:

1. Концепція «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року / Сайт Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://mepr.gov.ua/news/34424.html> (дата звернення: 13.12.2020).
2. Ющенко Н.Л., Ігнатенков О.Л. До питання підвищення енергоефективності централізованого теплопостачання в Україні. *Глобальні та національні проблеми економіки*. 2017. Вип. 20. С. 1060–1064. URL: <http://global-national.in.ua/archive/20-2017/217.pdf> (дата звернення: 13.12.2020).
3. План пріоритетних дій Уряду на 2020 рік: Розпорядження Кабінету Міністрів України № 1133-р від 9.09.2020 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1133-2020-%D1%80#Text> (дата звернення: 13.12.2020).
4. Лазановський П.П. Використання методу мережевого планування в операційному управлінні виробництвом книжково-журнальної продукції. *Наукові записки. Економічні науки*. 2016. № 2 (53). С. 205–212.
5. Сибаль Я., Іваницький І., Кадюк З. Сіткові методи планування та управління в оптимізації виробництва продукції. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія «Економіка АПК»*. 2014. № 21 (1). С. 322–326.
6. Сохань В.В. Сітвові моделі оперативного управління проектами в дорожньому будівництві. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки»*. Київ: НТУ, 2015. Вип. 1 (31). С. 499–507. URL: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/31_1_tech_2015/499-507.pdf (дата звернення: 13.12.2020).
7. Ющенко Н. Сітвові графіки в оперативному управлінні комплексом робіт з реконструкції теплових мереж. *Інфраструктура ринку*. 2020. Вип. 49.
8. Филиппс Д., Гарсиа-Диас А. (1984). Методы анализа сетей / пер. с англ. Е.Г. Коваленко, М.Г. Фуругяна [под ред. Б.Г. Сушкова]. Москва: Мир. С. 309–313.

References:

1. Website of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine (2020). The concept of "green" energy transition of Ukraine until 2050. Available at: <https://mepr.gov.ua/news/34424.html> (accessed 13 December 2020).
2. Yushchenko N.L., Ignatenkov O.L. (2017) On the issue of increasing the energy efficiency of district heating in Ukraine. *Global and national economic problems [Online]*, vol. 20. Available at: <http://global-national.in.ua/archive/20-2017/217.pdf> (accessed 13 December 2020).
3. Cabinet of Ministers of Ukraine (2020) Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine "Plan of priority actions of the Government for 2020". Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1133-2020-%D1%80#Text> (accessed 13 December 2020).
4. Lazanovsky P.P. (2016) Vykorystannya metodu merezhevoho planuvannya v operatsiynomu upravlinni vyrobnytstvom knyzhkovo-zhurnalnoyi produktsiyi [The use of network planning in the operational management of the production of book-magazine products]. *Scientific notes. Economic Sciences*, no. 2 (53), pp. 205–212 (in Ukrainian).
5. Sybal Ya., Ivanytsky I., Kadyuk Z. (2014) Sitkovi metody planuvannya ta upravlinnya v optymizatsiyi vyrobnytstva produktsiyi [Network methods of planning and management in production optimization]. *Bulletin of Lviv National Agrarian University. Series "Economy of agroindustrial complex"*, no. 21 (1), pp. 322–326 (in Ukrainian).
6. Sokhan V.V. (2015) Sitovi modeli operatyvnoho upravlinnya proektamy v dorozhnomu budivnytstvi [Network models of operational management of projects in road construction]. *Bulletin of the National Transport University. Series "Technical Sciences"*, no. 1 (31), pp. 499–507. Available at: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/31_1_tech_2015/499-507.pdf (accessed 13 December 2020).
7. Yushchenko N. (2020) Network graphics in the operational management of a set of works on the reconstruction of thermal networks. *Market infrastructure*, vol. 49.
8. Fyllyps D., Harsya-Dyas A. (1984). Metody` analiza setey [Network Analysis Methods] (Kovalenko E.H., Furuhyana, M.H., trans; B. Sushkova, ed). Moscow: Peace. (in Russian)