СІТЬОВІ ГРАФІКИ В ОПЕРАТИВНОМУ УПРАВЛІННІ КОМПЛЕКСОМ РОБІТ З РЕКОНСТРУКЦІЇ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ

NETWORK DIAGRAMS IN OPERATIONAL MANAGEMENT OF THE COMPLEX OF WORKS ON RECONSTRUCTION OF HEATING NETWORKS

УДК 519.876.3
DOI: https://doi.org/10.32843/infrastruct49-63

Ющенко Н.Л.
к.е.н., доцент
Хмельницький національний університет

Yushchenko Nadiia
Khmelnytskyi National University

Стаття присвячена систематизації й аспектам класифікації методів оптимізації сітьового графіка: 1) 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; 2) за критерієм часу з урахуванням залучення додаткових ресурсів методом «вартість–час», методом лінійного програмування, методом перерозподілу ресурсів; 3) за критерієм ресурсів. Пропонується адаптувати 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, класифікація, методи і моделі управління проектами, оптимізація, сітьова модель, теплопостачання.*

Статья посвящена систематизации и аспектам классификации методов оптимизации сетевого графика: 1) по критерию времени без учёта ограниченных ресурсов, которая может проводиться за счёт сокращения продолжительности критических работ либо же методом изменения топологии сети, либо методом детализации работ; 2) по критерию времени с учетом привлечения дополнительных ресурсов методом «стоимость–время», методом линейного программирования, методом перераспределения ресурсов; 3) по критерию ресурсов. Предлагается их адаптация к практике эффективного планирования и управления модернизацией, реконструкцией и заменой технологического оборудования тепловых пунктов и тепловых сетей предприятий теплоэнергетики с целью снижения затрат при производстве, передаче и распределении тепловой энергии на выполнение Энергетической стратегии Украины на период до 2035 года. Использование существующих в теории планирования и управления сетями экономико-математических моделей, методов и соответствующего программного обеспечения поможет генерировать инварианты управленческих решений, касающихся существенных по объёмам, стоимости и времени работ.

Ключевые слова: *энергоэффективность, классификация, методы и модели управления проектами, оптимизация, сетевая модель, теплоснабжение.*

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. The cogeneration combined heat and power plants and heating networks are especially worn out, the losses of heat 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 (CPM), Program Evaluation and Review Technique (PERT), Graphical Evaluation and Review Technique (GERT), 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 p 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 aspects of the classification of network optimization methods: 1) according to the criterion of time without taking into account limited resources, which can be carried out by reducing the duration of critical work either by changing the network topology, or by the method of detailing the work; 2) by the criterion of time, taking into account the attraction of additional resources by the «cost-time» method, by the linear programming method, by the method of resource redistribution; 3) by the criterion of resources. It is proposed to adapt 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.

Key words: *energy efficiency, classification, project management methods and models, optimization, network model, heat supply.*

Постановка проблеми. За часів СРСР, що займав провідні позиції у світі в сфері реалізації системи централізованого теплопостачання на базі теплофікації, в усіх великих містах будувались ТЕЦ, від яких здійснювалось централізоване теплопостачання житлових мікрорайонів і промислових об'єктів і які витісняли дрібні котельні як джерело теплопостачання. Однак фінансування централізованого теплопостачання в умовах планової економії виконувалось за залишковим принципом – іноді ТЕЦ вже була побудована, а теплові мережі ще не підведені. В результаті теплопроводи виконувались низької якості з поганою ізоляцією та неефективним дренажем, підключення спо-

живачів тепла до теплових мереж здійснювалось без автоматичного регулювання навантаження, в кращому випадку, з використанням гідравлічних регуляторів стабілізації витрат теплоносія дуже низької якості. Все це обумовлювало виконувати відпуск тепла від джерела методом центрального якісного регулювання (зміною температури теплоносія залежно від навколишньої температури за єдиним графіком для всіх споживачів з постійною циркуляцією в мережах), що призводило до значної перевитрати тепла споживачами – через відмінності режиму експлуатації та неможливості сумісної роботи кількох джерел тепла на єдину мережу для здійснення взаємного резервування.

Погана теплоізоляція трубопроводів і часткове заповнення їх грунтовими водами приводять до великих тепловтрат при транспорті теплоносія, які сягають 20-30% від кількості тепла, що виробляється, а також до корозії трубопроводів і їх руйнування, що викликає значні витоки теплоносія. Витоки збільшуються за рахунок зливання теплоносія з систем опалення кінцевих споживачів при недостатньому напорі в трубопроводах теплових мереж та через їх розрегулювання. Розрегулювання призводить до підвищення температури зворотної води на всупереч розрахунковому графіку і до вимушеного зниження її в подаючому трубопроводі – навіть при достатній потужності джерела тепла.

Позитивний досвід якісного і надійного централізованого теплопостачання країн Північної Європи засвідчує, що неправильним є висновок стосовно того, що централізоване теплопостачання себе не виправдало і необхідно переходити на децентралізовані автономні джерела тепла, які підкуповують малим обсягом разових інвестицій та відсутністю необхідності прокладання теплопроводів. Їх дешевизна ілюзорна через некомплексність підходу в розрахунках. Підключення теплового навантаження до котельні позбавляє можливості виробництва дешевої електроенергії на тепловому споживанні. Тому ця частина невиробленої електроенергії повинна заміщуватися виробництвом її по конденсаційнному циклу, ККД якого в 2-2,5 рази нижчий порівняно з теплофікаційним [1].

Для прикладу, в таких містах як Хельсінки і Копенгаген централізованим теплопостачанням охоплені до 90% споживачів. За рахунок використання якісної теплоізоляції тепловтрати трубопроводів складають всього 5% в магістральних мережах та 10-12% в розвідних. Витоки практично зведені до нуля. Суцільна автоматизація всіх споживачів тепла дозволила відмовитися від якісного методу центрального регулювання на джерелі тепла, яке викликає небажані температурні коливання в трубопроводах тепломережі, дала можливість знизити максимальні параметри температури води до 110-120 °С і забезпечити можливість роботи декількох джерел тепла, включаючи сміттєспалювальні заводи, на єдину мережу з найбільш ефективним використанням кожного.

Відповідно в Україні, де на відміну від країн ЄС, які використовують системи централізованого теплопостачання і вклали в їх модернізацію за останні 30 років більше €80 млрд., в період 1990-2020 рр. не було необхідних інвестицій в модернізацію систем централізованого теплопостачання, особливо сильно зношені теплофікаційні ТЕЦ та теплові мережі, втрати теплової енергії в джерелах і в мережах найбільші в Європі [2] необхідна раціональна робота в напрямі подальшого підвищення технічного рівня систем теплопостачання на основі інноваційних, високоефективних технологій та обладнання; скорочення невиробничих втрат теплової енергії і витрачання палива; забезпечення керованості, надійності, безпечності та економічності теплопостачання; зменшення негативного впливу на оточуюче середовище. І в цьому випадку планування істотних за обсягами, вартістю і часом робіт особливої актуальності набуває використання існуючих у теорії планування та управління мережами економіко-математичних моделей та методів критичного шляху (critical path method, CPM), оцінки і перегляду планів (Program Evaluation and Review Technique, PERT), прийняття рішень щодо стохастичних GERT-мереж (Graphical Evaluation and Review Technique) [3], що передбачають роботу з сітьовими графіками, та відповідного програмного забезпечення як Project Standard, Open Plan, Primavera Project Planner, SureTrak Project Manager та ін. [4], що допомагатимуть генерувати інваріанти управлінських рішень щодо встановлення послідовності і термінів використання обмежених ресурсів протягом усього періоду реалізації проекту, проводити динамічне регулювання термінів початку кожного виду робіт [5], здійснювати оптимальний розподіл засобів, відведених на проект, за критерієм скорочення тривалості усього проекту, виконувати аналіз компромісних співвідношень між витратами і термінами виконання різноманітних робіт з урахуванням наявного резерву часу, коли йдеться про велику кількість взаємопов'язаних робіт, що повинні виконуватись у суворій технологічній послідовності, потребують встановлення термінів і контролю з метою досягнення поставленої цілі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наукові праці таких дослідників, як Я. Сибаль, І. Іваницького, З. Кадюка [6], В. Сохань [7], П. Лазановського [8] та ін., присвячений 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 постачання та підвищення ефективності кінцевого енергоспоживання.

Постановка завдання. В статті систематизовані й проаналізовані основні методи оптимізації сітьового графіка за критеріями часу без врахування обмежених ресурсів, часу з урахуванням залучення додаткових ресурсів, за ресурсами, що актуальні в плануванні і управлінні ресурсами і витратами при модернізації систем централізованого теплопостачання, зокрема, міських тепломереж територіальних громад в умовах реформи децентралізації в Україні.

Виклад основного матеріалу дослідження. Побудова сітьового графіка і розрахунок його параметрів надає початкову інформацію для головного етапу – оптимізації сітьового графіка. Оптимізацію проводять з метою покращення організації комплексу робіт з урахуванням термінів їх виконання і раціонального використання різноманітних ресурсів. В процесі її параметри сітьової моделі приводять у відповідність заданим обмеженням.

Оптимізацію здійснюють на основі детального аналізу початкового сітьового графіка та його параметрів. Метод оптимізації залежить від характеру задачі і типу сітьової моделі. Оптимізацію можна проводити за наступними критеріями: часу (без врахування обмежених ресурсів), часу з урахуванням залучення додаткових ресурсів, ресурсами.

Класифікація методів оптимізації наведена в роботі [9].

Метою задачі оптимізації сітьових графіків за критерієм часу без врахування ресурсів є мінімізація тривалості здійснення комплексу робіт з урахуванням нормативного строку його виконання. Оптимізацію за часом можна проводити за рахунок скорочення тривалості критичних робіт, зміни топології мережі та деталізації робіт.

Зменшення тривалості критичних робіт досягається вдосконаленням організації їх виконання (покращенням постачання, раціональною організацією робочих місць та ін.).

Метод зміни топології мережі забезпечує мінімальну тривалість здійснення комплексу робіт при сталих ресурсах, що використовуються для окремих робіт і всього комплексу. Він полягає в зміні послідовності виконання окремих робіт або виявленні можливості паралельного їх проведення. При оптимізації сітьового графіка даним методом досягається скорочення резервів часу некритичних робіт, що приводить до виникнення кількох критичних шляхів і відповідно більшої кількості критичних робіт. Для скорочення обсягу обчислень використовують алгоритм Чариса і Купера.

Метод деталізації робіт застосовують, коли окремі роботи можна розділити на елементи.

Оптимізація за критерієм часу з врахуванням ресурсів передбачає скорочення тривалості комплексу робіт за рахунок залучення додаткових ресурсів або їх перерозподілу (перенесення частини ресурсів з некритичних робіт на критичні). Таку оптимізацію здійснюють трьома методами.

Метод «вартість–час» застосовується у випадку, коли ресурси задані у вартісному вимірі й існує певна залежність між вартістю роботи і її тривалістю (відома функція «час–вартість»). Він дозволяє визначити мінімальну величину додаткових витрат, необхідних для максимального прискорення комплексу робіт. При оптимізації методом «вартість–час» параметри початкового сітьового графіка розраховують виходячи з нормальних оцінок тривалості робіт t_{ij}^{n}, після чого тривалість критичних робіт послідовно скорочують, використовуючи для цього коефіцієнт вартості η_{ij} [10], а також величини можливого скорочення робіт $\Delta t_{ij} = t_{ij}^{n} - t_{ij}^{M}$ (де t_{ij}^{M} – мінімальна (аварійна) оцінка).

В процесі оптимізації з'являються нові критичні шляхи, тому оптимізацію здійснюють ітераційним способом. На кожній ітерації на критичному шляху обирають роботу з найменшим коефіцієнтом η_{ij}, приймають мінімальну оцінку тривалості та перераховують параметри графіка заново. Якщо два критичних шляхи мають спільну роботу (наприклад, роботу k–s з коефіцієнтом вартості η_{ks}), то на кожному з цих шляхів обирають роботи з найменшими коефіцієнтами вартості (нехай такими є q – l та r – t) і додають їх коефіцієнти вартості: $\eta_{ql} + \eta_{rt}$.

В розрахунок приймають роботу k – s, якщо $\eta_{ks} < \eta_{ql} + \eta_{rt}$, і роботи q – l та r – t, якщо $\eta_{ks} \geq \eta_{ql} + \eta_{rt}$. Щоб забезпечити послідовний розрахунок, на кожній ітерації величину скорочення тривалості робіт Δt_{ij} порівнюють з резервами часу некритичних шляхів R_{μ}^{L}. При цьому повинна виконуватися умова $\Delta t_{ij} \leq R_{\mu}^{L}$. В протилежному випадку необхідно прийняти в розрахунок значення Δt_{ij}^{1}, що дорівнює мінімальній величині резерву R_{μ}^{L}.

Оптимізація вважається закінченою, коли критичний шлях скоротити неможливо або його доведено до встановленого нормативного строку.

Метод лінійного програмування застосовують для задач, в яких заданий нормативний строк $T_{\partial up}$ закінчення комплексу робіт (він менший за критичний шлях). Для виконання комплексу робіт в цей термін можна залучити додаткову кількість робітників. Відома чисельність робітників k_{ij}, яку необхідно залучити для виконання кожної роботи, щоб її тривалість скоротилась на одиницю часу. Висувається припущення, що немає обмежень щодо скорочення тривалості робіт.

Необхідно забезпечити виконання комплексу робіт в нормативний строк із залученням мінімальної кількості додаткових робітників.

Для побудови лінійної економіко-математичної моделі введемо наступні невідомі:

t_i і t_j – строки здійснення і-тої та j-тої подій при нормативній тривалості розробки (доведено, що в даному випадку $t_i = t_i^p = t_i^n$ [11]);

x_{ij} – інтервал часу, на який необхідно скоротити тривалість роботи i – j.

Економіко-математична лінійна модель має вид:

$$\text{I. } t_j - t_i + x_{ij} = t_{ij}; \quad (1)$$

$$\text{II. } L = \sum_{i,j} k_{ij} x_{ij} \to \min; \quad (2)$$

$$\text{III. } t_i > 0, t_j > 0, x_{ij} > 0.$$

Кількість рівнянь виду (1) відповідає числу робіт в мережі. Кожне таке рівняння показує, що різниця між термінами здійснення кінцевої та початкової подій роботи i – j повинна дорівнювати скороченій її тривалості, т. б. $t_{ij} - x_{ij}$. Оскільки строк здійснення початкової події $t_0 = 0$, а завершальної $t_n = T_{дир}$, то перше і останнє рівняння мають відповідно вид:

$$t_1 + x_{01} = t_{01} \; i \; t_n = T_{дир}.$$

Мета задачі – мінімізація чисельності додатково залучених робітників – відображена в цільовій функції (2).

Метод перерозподілу ресурсів (рівнянь) застосовують за умови, що в комплекс входять роботи, для яких можна використовувати ресурси одного й того ж виду і які в сітьовому графіку знаходяться на різних шляхах (критичному і некритичних). Ресурси необхідно перерозподілити так, щоб при заданій їх кількості забезпечувалось виконання комплексу робіт в мінімальний строк.

Переміщувати ресурси (наприклад, виконавців) слід на критичні роботи, враховуючи резерви часу некритичних робіт.

Введемо такі умовні позначення:

k і v – індекси, відповідно, критичної і некритичної робіт;

$K_г$ і K_v – кількість виконавців на критичній і некритичній роботах;

t_r і t_v – тривалість виконання робіт r і v;

Q_r і Q_v – сумарні витрати часу на виконання робіт r і v;

X – кількість виконавців, яких переміщуватимуться з некритичної роботи на критичну;

Y – кількість годин, на яку скорочується критичний шлях.

При використанні даного методу складають рівняння, що відображають відповідність між кількістю виконавців, які переміщуються, скороченням тривалості критичного шляху і збільшенням тривалості некритичної роботи з урахуванням її повного резерву часу:

$$\frac{Q_r}{K_r + X} = t_r - Y, \quad \frac{Q_v}{K_v - X} = t_v + R_v - Y.$$

Метод оптимізації за критерієм ресурсів застосовується для задач раціонального розподілу обмежених ресурсів. Задачею такого типу, наприклад, є забезпечення рівномірного споживання ресурсів. Для її оптимізації використовують метод вирівнювання однозначних ресурсів, що забезпечує мінімізацію середньоквадратичного відхилення кількості ресурсів, що споживаються щоденно, від їх середнього споживання при заданому часі виконання комплексу робіт. Метод вирівнювання однозначних ресурсів передбачає побудову різних календарних планів шляхом перенесення термінів виконання робіт в межах наявних резервів часу. В подальшому для цих календарних планів визначають суму квадратів величин ресурсів за кожен відрізок часу. Календарний план, для якого сума квадратів мінімальна, являється оптимальним.

Висновки. Попит на теплову енергію найближчим часом формуватиметься в умовах приблизно усталеної чисельності населення при зростанні щільності забудови існуючих міських поселень, сформованого трасування теплових мереж. Це означає, що енергетична і економічна ефективність модернізації та подальшого розвитку теплопостачання може оцінюватися тільки на підставі комплексного аналізу всіх компонент системи теплопостачання: джерело – теплові мережі – споживач, що дозволить отримати максимальний ефект з підвищення якості надання послуг, надійності роботи.

Сітьові графіки відіграють важливу роль в системі оперативного управління комплексом робіт. Оперативне управління 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 наступні періодично повторювані етапи:

1) збирання і підготовку оперативної інформації щодо стану комплексу (уточнення оцінок робіт, їх складу і змісту, фіксація фактичних параметрів робіт і т. д.);

2) оновлення моделей і підготовку даних для їх перерахунку (внесення нових робіт і подій, фіксація стану виконуваних і завершених робіт);

3) перерахунок сітьових моделей (вручну або на комп'ютері, що залежить від їх складності);

4) аналіз фактичного стану комплексу робіт і підготовка рішень стосовно його подальшої реалізації;

5) 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.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Ливчак В.И. Совершенствование систем централизованного теплоснабжения крупных городов России. *АВОК*. 2004. № 5. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2530 (дата звернення: 27.11.2020).

2. Степаненко В. Безопасность в централизованном теплоснабжении в городах Украины / Центр енергетичної безпеки України. URL: https://energy-security.org.ua/2020/02/bezopasnost-v-czentralyzovannom-teplosnabzhenyy-v-gorodah-ukraynы/ (дата звернення: 19.11.2020).

3. Филлипс Д., Гарсиа-Диас А. Методы анализа сетей / пер. с англ. Е.Г. Коваленко, М.Г. Фуругяна [под ред. Б.Г. Сушкова]. Москва : Мир, 1984. С. 309–313.

4. Ющенко Н.Л. Інформаційні технології, що реалізовують моделі та методи аналізу в процесі прийняття рішень щодо ресурсів і витрат при модернізації теплоенергетики в Україні. *Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС '2017* : тези доповідей Дванадцятої міжнар. наук.-практ. конф., м. Чернігів, 26-29 червня 2017 р. Чернігів, 2017. С. 224–232.

5. Ющенко Н.Л. Математичні моделі визначення резерву часу для збалансованого розподілу трудових, матеріальних і фінансових ресурсів при модернізації комунальної теплоенергетики України. *Науковий вісник Полісся*. Чернігів : ЧНТУ, 2016. № 2. С. 16-25.

6. 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.

7. Сохань В.В. Сітьові 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: 05.04.2019).

8. Лазановський П.П. Використання методу мережевого планування в операційному управлінні виробництвом книжково-журнальної продукції. *Наукові записки. Економічні науки*. 2016. № 2(53). С. 205–212.

9. Лебедев Г.Н., Овчинников С.И., Пушкин П.С. Подготовка производства новых видов обуви с использованием сетевого планирования и управления. Москва : Легкая индустрия, 1970. 76 с.

10. Ющенко Н. Основні типи сітьових моделей в плануванні і управлінні проектами зі скорочення втрат енергоресурсів в мережах теплопостачання з метою зниження рівня енергетичної бідності домогосподарств в Україні. *Науковий погляд: економіка та управління*. 2020. Випуск 4(70).

11. Бездудный Ф.Ф., Шапиро Е.С., Андреев П.Я. Сетевые методы планирования и управления в текстильной и лёгкой промышленности. Москва : Легкая индустрия, 1969.

REFERENCES:

1. Lyvchak, V.Y. (2004) Sovershenstvovanye system centralyzovannogo teplosnabzhenyya krupnyx gorodov Rossyy [Improvement of district heating systems in large cities of Russia]. *AVOK* – ABOK, no. 5. Retrieved from: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2530 (accessed 27 November 2020).

2. Stepanenko V. Bezopasnost' v centralizovannom teplosnabzhenii v gorodah Ukrainy [Safety in district heating in Ukrainian cities]. Centr energetychnoyi bezpeky Ukrayiny. Retrieved from: https://energy-security.org.ua/2020/02/bezopasnost-v-centralyzovannom-teplosnabzhenyy-v-gorodah-ukraynы/ (accessed 19 November 2020).

3. Fyllyps, D. & Harsya-Dyas, A. (1984) Metody analyza setey [Network Analysis Methods] (Kovalenko, E.H. & Furuhyana, M.H., trans; B. Sushkova, ed). Moscow: Peace. (in Russian)

4. Yushchenko, N.L. (2017) Informatsiyni tekhnolohiyi, shcho realizovuyut' modeli ta metody analizu v protsesi pryynyattya rishen' shchodo resursiv i vytrat pry modernizatsiyi teploenerhetyky v Ukrayini [Information technologies implementing models and methods of analysis in the decision making process concerning resources and costs during the modernization of heat and power engineering in Ukraine]. *Matematychne ta imitatsiyne modelyuvannya system. MODS '2017* : tezy dopovidey Dvanadtsyatoyi mizhnarodnoyi nauk.-prakt. konf. – *Mathematical and simulation modeling of systems. MODIS '2017:* theses of the reports of the Twelfth International Science Pract. Conf. Chernihiv: ChNTU. (in Ukrainian)

5. Yushchenko, N.L. (2016) Matematychni modeli vyznachennya rezervu chasu dlya zbalansovanoho rozpodilu trudovykh, material'nykh i finansovykh resursiv pry modernizatsiyi komunal'noyi teploenerhetyky Ukrayiny [Mathematical models to determine the reserve time a balanced distribution of manpower, material and financial resources for modernization of municipal power system of Ukraine]. *Naukovyy visnyk Polissya – Scientific Bulletin of Polissia*, no. 2(6), pp. 16–25. (in Ukrainian)

6. Sybal', Ya., Ivanyts'kyy, I. & Kadyuk, Z. (2014) Sitkovi metody planuvannya ta upravlinnya v optymizatsiyi vyrobnytstva produktsiyi [Network methods of planning and management in production optimization]. *Visnyk L'vivs'koho natsional'noho ahrarnoho universytetu. Seriya : Ekonomika APK – Visnyk of Lviv National Agrarian University. Series: Economy of agroindustrial complex*, no. 21(1), pp. 322–326. (in Ukrainian)

7. Sokhan', V. V. (2015) Sit'ovi modeli operatyvnoho upravlinnya proektamy v dorozhn'omu budivnytstvi [Network models of operational management of projects in road construction]. *Visnik Nacional'nogo transportnogo universitetu. Seriya «Tekhnichni nauki» – Bulletin of the National Transport University. Series «Technical Sciences»*, no. 1(31), pp. 499–507. Retrieved from: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/31_1_tech_2015/499-507.pdf (accessed 5 April 2019).

8. Lazanovs'kyy, P. P. (2016) Vykorystannya metodu merezhevoho planuvannya v operatsiynomu upravlinni vyrobnytstvom knyzhkovo-zhurnal'noyi produktsiyi [The use of network planning in the operational management of the production of book-magazine products]. *Naukovi zapysky. Ekonomichni nauky – Scientific notes. Economic Sciences*, no. 2(53), pp. 205–212. (in Ukrainian)

9. Lebedev, G.N., Ovchinnikov, S.I. & Pushkin, P.S. (1970) Podgotovka proizvodstva novyh vidov obuvi s ispol'zovaniem setevogo planirovaniya i upravleniya [Preparing the production of new types of footwear using

network planning and management]. Moscow: Light Industry. (in Russian)

10. Yushhenko, N. (2020) Osnovni typy sitovyx modelej v planuvanni i upravlinni proektamy zi skorochennya vtrat energoresursiv v merezhax teplopostachannya z metoyu znyzhennya rivnya energetychnoyi bidnosti domogospodarstv v Ukrayini [The main types of network models in the planning and management of projects to reduce energy losses in heating networks in order to reduce the energy poverty of households in Ukraine]. *Naukovyj poglyad: ekonomika ta upravlinnya – Scientific view: economics and management*, no. 4(70). (in Ukrainian)

11. Bezdudnyj, F.F., Shapyro, E.S. & Andreev, P.Ya. (1969) Setevye metody planyrovanyya y upravlenyya v tekstylnoj y lëgkoj promyshlennosty [Network methods of planning and management in the textile and light industry]. Moscow: Light Industry. (in Russian)