

УДК 519.876.2

DOI: <https://doi.org/10.32840/2522-4263/2020-6-50>

Ющенко Н.Л.
*кандидат економічних наук, доцент,
Хмельницький національний університет*

Yushchenko Nadiia
*PhD in Economics, Associate Professor,
Khmelnytskyi National University*

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМИ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

PRINCIPLES OF FORMATION OF CENTRALIZED HEAT SUPPLY SYSTEM MODELS

АНОТАЦІЯ

У зв'язку з необхідністю зниження витрат під час виробництва, передачі та розподілення теплової енергії на виконання Енергетичної стратегії України на період до 2035 р., що повинно позначитися на розмірі тарифів на теплову енергію, статтю присвячено аналізу проблемної ситуації, розглянуто досвід країн ЄС, що використовують системи централізованого теплопостачання і вклали в їх модернізацію за останні 30 років понад €80 млрд. Обґрунтовано доцільність використання моделювання та узагальнено принципи моделювання системи централізованого теплопостачання як складної технічної системи в умовах необхідності вдосконалення методичних підходів до активізації технічно надійного та безпечного функціонування систем теплозабезпечення суспільства й економіки засобами математики та з метою підвищення енергоефективності централізованого теплопостачання в Україні.

Ключові слова: витрати, моделювання, об'єкт управління, система, суб'єкт управління, теплові мережі, формування моделі, централізоване теплопостачання.

АННОТАЦИЯ

В связи с необходимостью сокращения затрат в процессе производства, передачи и распределения тепловой энергии в контексте выполнения Энергетической стратегии Украины на период до 2035 г., что должно отразиться на размере тарифов на тепловую энергию, статья посвящена анализу проблемной ситуации, рассмотрению опыта стран ЕС, использующих системы централизованного теплоснабжения и инвестировавших в их модернизацию за последние 30 лет более €80 млрд., обоснованию целесообразности применения моделирования и обобщению принципов моделирования системы централизованного теплоснабжения как сложной технической системы в условиях необходимости совершенствования методических подходов к активизации технически надежного и безопасного функционирования систем теплообеспечения общества и экономики средствами математики и в целях повышения энергоэффективности централизованного теплоснабжения в Украине.

Ключевые слова: затраты, моделирование, объект управления, система, субъект управления, тепловые сети, формирование модели, централизованное теплоснабжение.

ANNOTATION

In connection with the need to reduce costs in the process of production, transmission and distribution of heat energy in the context of the implementation of the Energy Strategy of Ukraine for the period up to 2035, which should affect the amount of tariffs for heat energy, the article is devoted to the analysis of the problem situation, consideration of the experience of the European Union countries using district heating systems and have invested more than € 80 billion in their modernization over the past 30 years, substantiating the feasibility of applying modeling and generalizing the

principles of modeling a district heating system as a complex technical system in the context of the need to improve methodological approaches to activate the technically reliable and safe functioning of heat supply systems for society and the economy by means of mathematics and in order to improve the energy efficiency of district heating in Ukraine. At the same time, possible types of objects of modeling are considered. Attention is focused on the fact that in accordance with the principle of decomposition, depending on the nature of the tasks being solved, a complex technical system can be divided into subsystems of various levels and elements of these subsystems, which can have both physical embodiment and abstract, conceptual ones. The interaction of the elements of a complex technical system with each other is described using the rules of attitude and rules of behavior. The life cycles of elements of a complex technical system are embodied through a set of states, and the activity of the system is described through a set of functions. The need for planning and control in heat power engineering using existing solutions of applied programs, as well as developing new ones, is noted, and that the formation of models of a district heating system can be correctly carried out only with the participation of operating organizations, whose empirical experience is subject to analysis in order to identify formalized and non-formalized phenomena. And also attention is paid to the importance of active implementation in the field of district heating in Ukraine, harmonized by it, the international standard ISO 50001 (Energy management systems - Requirements with guidance for use).

Key words: costs, modeling, object of management, system, subject of management, heat networks, model formation, centralized heat supply.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. В останні десятиліття системи централізованого теплопостачання з використанням технологій комбінованого виробітку теплової та електричної енергії створювали Фінляндія, Швеція, Данія, Норвегія, Австрія та інші держави Західної Європи, де вони стали домінуючими. Так, Данія за останні 20 років подвоїла частку централізованого теплопостачання у всьому ринку тепла, яка зросла з 30% до 60%. Швеція – одна з лідируючих країн світу у сфері централізованого теплопостачання, яка щорічно виробляє майже 40 ТВт/год. теплової енергії. Стале зростання потужностей ТЕЦ і невеликих установок комбінованого циклу спостерігається в Німеччині, Нідерландах, США, Франції, Великобританії. Щорічний приріст електричної потужності ТЕЦ

у США становить майже 3000 МВт, теплової – 3500 Гкал/год. [1]. Позитивний досвід ефективного використання центрального опалення демонструють скандинавські країни.

У різних країнах ЄС частка приватних форм власності у секторі централізованого теплопостачання становить до 40% [2]. Серед експертів немає єдиної думки щодо того, які компанії ефективніші – приватні чи ті, що перебувають у державній власності, усе залежить від менеджменту, спроможності забезпечити високу ефективність роботи, якість послуг і конкурентні ціни. Наприклад, повністю в державній власності під контролем або держави, або муніципалітету перебувають системи централізованого теплопостачання міст Гельсінкі, Мюнхен, Гетеборг, Відень, Будапешт, повністю у приватній власності – Упсала, Мальме, Берлін, Гамбург. Крім того, поширена змішана форма власності й управління: договір на експлуатацію або управління (Бурос, Швеція), оренда (Таллінн, Вільнюс), концесія (Париж із 1927 р.), приватизація тільки генеруючих потужностей теплоенергетики (Копенгаген, Варшава, Брно, Рига, Бухарест), партнерство за участю вибраних приватних компаній у статутному капіталі (Пльзень, Дюссельдорф), партнерство за участю приватного капіталу, залученого на фондовому ринку (Мангейм, Вроцлав), повністю приватна власність з підтримкою з боку муніципалітету (Саутгемптон).

Із метою підвищення ефективності функціонування ринку теплової енергії позитивний досвід європейських країн з урахуванням місцевих умов показаний для впровадження в Україні, адже системи центрального теплопостачання в містах потребують реконструкції й оновлення. Комплексна модернізація інфраструктури цих систем є як ніколи актуальною [3] і в цьому разі планування істотних за обсягами, вартістю і часом робіт раціональним є використання моделей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор. Науковим, методичним і прикладним аспектам економіко-математичного моделювання процесів розвитку теплоенергетики присвячено дослідження А. Алексахіна і А. Бобловського [4], А. Буяка [5], О. Гаврися [6], В. Клименка та Ю. Орлова [7], Д. Чернікова [8] та інших вітчизняних і закордонних науковців. Проте існує можливість застосування моделей і методів теорії планування і управління мережами [9], а також удосконалення науково обґрунтованої системи економіко-математичних моделей підтримки прийняття рішень щодо модернізації комунальної теплоенергетики.

Формулювання цілей статті (**постановка завдання**). Головною метою цієї роботи є систематизація принципів побудови моделей складних технічних систем, акцентуючи увагу на моделюванні системи централізованого теплопостачання.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Оскільки система централізованого теплопостачання (СЦТ) – це конкретний варіант системи, то системний підхід, зміст якого полягає у комплексному, всебічному, всеохоплюючому вивченні об'єкта пізнання (проблеми, явища, процесу) як єдиної цілісної системи, – єдиний правильний підхід до дослідження складних технічних систем. Це означає, що для даного об'єкта повинні бути виділені елементи, зовнішні та внутрішні зв'язки, а також їхні цілі, що є суттєвими для поставленого завдання. Метою використання системного підходу до розв'язання конкретної проблеми є більш повне обґрунтування прийняття рішень. Особливостями теорії прийняття управлінських рішень є використання наукового методу, системна орієнтація та використання моделей [10, с. 20].

Система теплопостачання міста як макрооб'єкт управління у цілому, так і її окремі складники (системи різної організаційної приналежності або оперативного підпорядкування) мають більшість характерних ознак складних технічних систем:

- 1) існує єдина мета функціонування системи;
- 2) система складається з порівняно великої кількості взаємодіючих елементів. Елементи можуть бути типовими, тобто правила їх внутрішнього функціонування і взаємодії з оточенням можуть співпадати;
- 3) до системи може бути застосований принцип декомпозиції: складну технічну систему можна розділити, причому не обов'язково одним способом, на скінченну кількість частин, так званих підсистем складної технічної системи, які, своєю чергою, допускають поділ їх на дрібніші підсистеми і т. д. до елементів складної технічної системи, неподільних об'єктивно або відповідно до висунутих припущень;
- 4) взаємодія елементів у системі відбувається шляхом обміну речовиною, енергією, даними;
- 5) допустимий не єдиний характер функціонування системи;
- 6) управління системою носить ієрархічний характер, тобто має місце підпорядкування частин системи у вигляді наявності нерівноправних зв'язків між її елементами, коли дія в одному з напрямів здійснює значно більший вплив на елемент, аніж в іншому.
- 7) можуть бути виокремлені інтегральні властивості системи, відсутні у будь-якого з окремих її елементів або їх сукупностей (виробів, збірних одиниць, агрегатів, підсистем).

Укрупнена схема взаємодії об'єкта управління і підсистеми управління, у даному разі системи централізованого теплопостачання й організації, що експлуатує дану складну технічну систему, представлена на рис. 1. Під «зовнішнім середовищем» у даній постановці потрібно розуміти будь-які природні та (або) техногенні чинники, які існують об'єктивно і не входять до складу складної технічної системи, але прямо чи опосередковано впливають на її функціонування.

У господарській діяльності організації, що експлуатує СЦТ, явно або неявно використовуються різні моделі об'єкта управління. Заміщення об'єкта-оригіналу (системи централізованого теплопостачання) моделлю викликаною необхідністю коректного формалізованого опису задачі, що допускає такий підхід, з метою використання для аналізу логічного і математичного апарату, який забезпечує цілісний підхід до аналізу об'єкта управління. Слід визнати однак, що частина процедур вважається неформалізованою (такою, що не підлягає формалізації). Такі процедури потребують організації інтерактивної взаємодії моделі і користувача. Однією з проблем є досягнення оптимального співвідношення процедур двох видів.

Залежно від задач, що розв'язуються, змінюється склад і призначення моделей складної технічної системи. На рис. 2 представлено можливі цілі використання моделей складної технічної системи теплопостачання, а також шлях їх еволюціонування «від простого до складного».

Незважаючи на необхідне нормативне регламентування практично всіх дій, пов'язаних із проєктуванням, будівництвом, експлуатацією і ремонтом (реконструкцією, модернізацією) СЦТ, робота підприємств зберігає багато рис наукового дослідження. Науковий метод є фундаментальною процедурою будь-якого наукового дослідження і складається з трьох етапів:

1) спостереження – об'єктивний збір і аналіз інформації, що стосується проблемної ситуації;

2) формулювання гіпотези. Формулюючи гіпотезу, дослідник виявляє наявні альтернативи (варіанти дій) та їх наслідки для ситуації, а також виконує прогноз, заснований на спостереженнях. Мета формулювання гіпотези – встановлення взаємозв'язку між компонентами проблеми;

3) верифікація (або підтвердження) достовірності гіпотези – передбачає перевірку дослідником сформульованої гіпотези спостереженнями за результатами прийнятого рішення. За незадовільних результатів гіпотезу слід визнати недостовірною. У такому разі дослідник повинен повернутися до етапу спостереження, додати до існуючої нову інформацію, зібрану на етапі перевірки гіпотези, після чого сформулювати нову гіпотезу [10, с. 20–21].

Отже, одним з етапів дослідження є побудова механізму збирання інформації про складну технічну систему і зовнішнє середовище. Цілям опису складу і властивостей складної технічної системи служать моделі, що забезпечують так звану «паспортизацію» підсистем і елементів складної технічної системи в термінах, характерних для відповідної предметної сфери. Зокрема, для інженерних комунікацій СЦТ характерні виділення й опис



Рис. 1. Укрупнена схема взаємодії з об'єктом управління

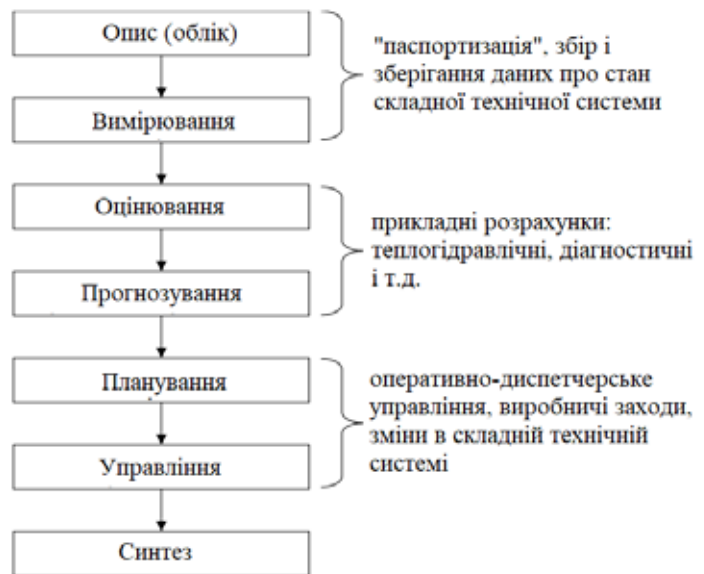


Рис. 2. Призначення моделей складної технічної системи централізованого теплопостачання

лінійних і вузлових споруд, джерел теплопостачання, управляючих пристроїв, допоміжних систем (дренування, електрохімічного захисту, зв'язку і т. п.). Дані моделі забезпечують можливість збору і зберігання умовно-постійної («паспортизація») та умовно-змінної, у тому числі хронологічно прив'язаної інформації про значення кількісних і якісних характеристик елементів складної технічної системи. Також підлягають опису та вимірюванню виробничі заходи та інші події, що викликають зміну властивостей складної технічної системи або її окремих елементів.

У цілому описові (вимірювальні) моделі діяльності експлуатаційної організації достатньо добре описуються «об'єктно-подієвою парадигмою» [11] стосовно господарюючого суб'єкта (рис. 3).



Рис. 3. Об'єктно-подієвий зв'язок

Підсистеми й елементи, які можуть бути кількісно (і якісно) описані, можуть бути об'єктами чисельного аналізу, тобто підлягають оцінюванню.

Відомою специфікою комунікаційних складних технічних систем, і СЦТ зокрема, є необхідність розрахунку режимів поточкорозподілу теплоносія в системах транспортування до споживача. Ефективним є використання для цих задач математичного апарату теорії графів.

Під прогнозуванням мається на увазі передбачення оцінок стану або характеру його зміни в усій складній технічній системі або окремих її елементів (сукупностей елементів) у майбутньому на підставі даних про їх стан у минулому і теперішньому. Прогнозування особливо важливе як підсумковий етап у задачах сукупної обробки інформації про шкідливі діючі фактори і відмову елементів складної технічної системи.

Задачі оперативного-диспетчерського управління (ведення режимів роботи; виконання перемикачів, пусків і зупинок пристроїв; локалізація аварійних ділянок; управління підключенням споживачів), планування виробничо-технічних заходів і т. п. вирішуються в складі моделей, що відповідають рівню планування й управління. Незважаючи на значну різноманітність можливих ситуацій, практично всі вони зводяться до універсалу: подія (запланована або фіксована) призводить до передбачуваної зміни властивостей відповідних елементів або їх сукупностей у складі моделі складної технічної системи.

Характерною особливістю моделювання складних технічних систем є те, що планування й управління тісно пов'язані з оцінюванням

і прогнозуванням. Характерний приклад – планування перемикачів насосів і (або) запірної арматури на основі оцінювання гідравлічного режиму роботи трубопровідної мережі [12].

Задачі синтезу на стадії експлуатації складної технічної системи не розглядаються і можуть викликати інтерес тільки за автоматизованого стратегічного планування розвитку системи та для розробників принципово нових способів організації СЦТ або її підсистем.

Важливою особливістю складних технічних систем є існування так званого життєвого циклу, тобто впорядкованої послідовності іменованих станів, в яких може знаходитися елемент (підсистема) складної технічної системи й які характеризуються зумовленим набором параметрів і правил взаємодії з іншими елементами складної технічної системи. Характерний узагальнений життєвий цикл елемента (підсистеми) СЦТ наведено на рис. 4. Його склад може змінюватися залежно від новизни, ремонтпридатності, можливості регулювання відповідного елемента (підсистеми) складної технічної системи. Визначення життєвого циклу є умовою коректності формування навіть описових моделей.

Можливі види об'єктів моделювання, тобто з чого формується модель складної технічної системи, представлено на рис. 5.

Складна технічна система може бути, відповідно до принципу декомпозиції, розподілена на підсистеми різних рівнів і елементи цих підсистем. Елементи і підсистеми можуть мати фізичне втілення або ж бути абстрактними, понятійними. Усе це являє собою елементи складної технічної системи та їх структуру. Взаємодія



Рис. 4. Укрупнений життєвий цикл елемента (підсистеми) системи централізованого теплопостачання



Рис. 5. Об'єкти моделювання системи централізованого тепlopостачання

елементів складної технічної системи між собою описується за допомогою правил відношення і правил поведінки. Життєві цикли елементів складної технічної системи знаходять своє втілення через сукупність станів. Діяльність системи описується через сукупність функцій. Еволюція в моделі складної технічної системи забезпечує можливості синтезу. Даний розділ найскладніший і зазвичай не реалізовується.

Висновки з цього дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку. Невпинне поширення комп'ютерних систем та відповідного програмного забезпечення ставить перед організаціями паливно-енергетичної галузі завдання усвідомленого використання існуючих рішень прикладних програм, а також тісної взаємодії з розробниками щодо розвитку засобів моделювання складних технічних систем енергетики. Очевидно, що саме експлуатаційна організація є превалюючим джерелом інформації про фактичний характер функціонування складної технічної системи у цілому та її окремих елементів і має найбільш повне уявлення: про фактичну зміну властивостей елементів (підсистем) складної технічної системи в процесі експлуатації; про фактичні пошкодження елементів (підсистем) складної технічної системи в процесі експлуатації; про фактичні методи моніторингу стану складної технічної системи; про фактичні методи ведення господарської діяльності.

Формування моделей системи централізованого тепlopостачання, орієнтованих (рис. 2) на оцінювання і прогнозування, а тим більше планування, може коректно здійснюватися тільки за участі експлуатаційних організацій, емпіричний досвід яких підлягає аналізу з метою виявлення явищ, що можуть бути формалізовані і не можуть бути, перші з яких підлягають інформаційному опису в моделі складної технічної системи, а другі – врахуванню там же

у вигляді можливості директивного втручання.

Для прикладу, вимірювання фактичних утрат у теплових мережах приладовим методом є досить трудомістким завданням і виконується на практиці вкрай нечасто. Рівень забезпечення теплотічильниками споживачів теплової енергії в Україні високий, але їх відсутність у певного відсотка споживачів не дає змоги зводити фактичний баланс вироблення й споживання теплової енергії, а отже, і визначити фактичні втрати в теплових мережах. Проблема не тільки у відсутності тих чи інших приладів, а й у відсутності нормативних вимог і узвичаєної практики використання фактичних (вимірюваних) даних під час складання звітності. Окрім того, у централізованому тепlopостачанні складалася усталена практика умовно-розрахункових показників. Із ними простіше працювати, ніж із результатами фактичних вимірювань. Що не можна виміряти, тим не можна управляти – відома істина. Але це не буде влаштувати тих, хто всерйоз планує розробляти й реалізовувати капіталомісткі інвестиційні проекти, вкладати кошти в модернізацію СЦТ, залучати кредити, адже енергетичні показники є основою для розрахунків фінансових показників. Комплексний аналіз енергетичних і фінансових показників – це сфера енергетичного менеджменту. В Україні гармонізовано міжнародний стандарт ISO 50001 (Energy management systems – Requirements with guidance for use), який потребує активного впровадження в галузі централізованого тепlopостачання.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Шалигайло А. Аналіз досвіду застосування систем опалення, у тому числі індивідуальних, іноземними державами / Міністерство з питань житлово-комунального господарства України. URL: <http://www.pereobuy.com.ua/about/>

- branch/branch-te/1416-analiz-dosvidu-zastosuvannya-sistem-opalennya-u.html (дата звернення: 28.11.2020).
2. Рынки тепловой энергии в странах ЕС. *Южная правда*. 2017. № 140 (23612). URL: http://www.up.mk.ua/mainpage/show_item/14122 (дата звернення: 28.11.2020).
 3. Бюллетень о внедрении проектов в рамках Программы Восточного партнерства ЕС «Демонстрационные проекты Соглашения мэров» (CoMDeP). URL: [http://com-dep.enefcities.org.ua/upload/files/CoMDeP_Newsletter%20No1_FINAL_RU_print\(1\).pdf](http://com-dep.enefcities.org.ua/upload/files/CoMDeP_Newsletter%20No1_FINAL_RU_print(1).pdf) (дата звернення: 28.11.2020).
 4. Алексахин А.А., Бобловский А.В. Теплопотери трубопроводами отопительной сети при изменении расчетной отопительной загрузки зданий микрорайона. *Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит*. 2011. № 9(91). С. 20–27. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/teplopoteri-truboprovodami-otopitelnoy-seti-pri-izmenenii-raschetnoy-otopitelnoy-nagruzki-zdaniy-mikrorayona-1> (дата звернення: 28.11.2020).
 5. Буюк А.Є. Економіко-математичне моделювання розвитку енергетики регіону : автореф. дис. ... канд. екон. наук : 08.00.11. Київ, 2010. 20 с.
 6. Оптимізація систем тепlopостачання із використанням економіко-математичного моделювання : монографія / за заг. ред. О.М. Гаврися. Харків : НТУ «ХПІ», 2015. 209 с.
 7. Клименко В.А., Орлов Ю.Н. Математическая модель оптимизации системы теплоснабжения. URL: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=473 (дата звернення: 28.11.2020).
 8. Черников Д.Н. Обоснование способов повышения надежности систем теплоснабжения населенных пунктов при планировании ремонтно-восстановительных работ : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.08. Воронеж, 2014. 140 с.
 9. Ющенко Н.Л. Математичні моделі визначення резерву часу для збалансованого розподілу трудових, матеріальних і фінансових ресурсів при модернізації комунальної теплоенергетики України. *Науковий вісник Полісся*. 2016. № 2. С. 16–25.
 10. Ющенко Н.Л. Економіко-математичні моделі в управлінні та економіці : навчальний посібник. Чернігів : Черніг. нац. технол. ун-т, 2016. 278 с.
 11. Верховский Д.Д., Лосев В.Н., Стрелова М.Д. Информационное обеспечение задач повреждаемости территориально распределенных инженерно-технических систем. *Энергонадзор-информ*. 2002. № 1. С. 21–23.
 12. Кулаков Н.Г., Бережнов И.А. Справочник по эксплуатации систем теплоснабжения. Киев : Будівельник, 1977. 352 с.
 - no. 140(23612). Retrieved from: http://www.up.mk.ua/mainpage/show_item/14122 (accessed 28 November 2020).
 3. Byulleten o vnedrenii proektov v ramkakh Programmy Vostochnogo partnerstva ES «Demonstratsionnye proekty Soglasheniya merov» (CoMDeP) [Bulletin on the implementation of projects under the EU Eastern Partnership Program Covenant of Mayors Demonstration Projects]. Retrieved from: [http://com-dep.enefcities.org.ua/upload/files/CoMDeP_Newsletter%20No1_FINAL_RU_print\(1\).pdf](http://com-dep.enefcities.org.ua/upload/files/CoMDeP_Newsletter%20No1_FINAL_RU_print(1).pdf) (accessed 28 November 2020).
 4. Aleksakhin, A.A. & Boblovskij, A.V. (2011) Teplopoteri truboprovodami otopitelnoj seti pri izmenenii raschetnoj otopitelnoj zagruzki zdaniy mikrorajona [Heat loss by pipelines of the heating network when the calculated heating load of the buildings of the microdistrict changes]. *Energoberezhenie. Energetika. Energoaudit – Energy saving. Energy. Energy audit*, no. 9(91), pp. 20–27. Retrieved from <http://cyberleninka.ru/article/n/teplopoteri-truboprovodami-otopitelnoy-seti-pri-izmenenii-raschetnoy-otopitelnoy-nagruzki-zdaniy-mikrorayona-1> (accessed 28 November 2020).
 5. Buyak, A.Ye. (2010). “Economic and mathematical modeling of energy development in the region”, Ph.D. Thesis, Kyiv.
 6. Optyimizaciya system teplopostachannya iz vykorystanniam ekonomiko-matematichnogo modelyuvannya [Optimization of heat supply systems using economic and mathematical modeling] (O. Gavrysa, ed). Kharkiv : NTU “KhPI”, 2015. 209 p. (in Ukrainian)
 7. Klimenko, V.A. & Orlov, Yu.N. Matematicheskaya model optimizacii systemy teplosnabzheniya [Mathematical model of optimization of the heat supply system]. Retrieved from: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=473 (accessed 28 November 2020).
 8. Chernikov, D.N. (2014) “Substantiation of ways to improve the reliability of heat supply systems in settlements when planning repair and restoration work”, Abstract of Ph.D. dissertation, Voronezh, Russia.
 9. Yushchenko, N.L. (2016) Matematychni modeli vyznachennya rezervu chasu dlya zbalansovanoho rozpodilu trudovykh, material'nykh i finansovykh resursiv pry modernizatsiyi komunal'noyi teploenerhetyky Ukrainy [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 Polissya*, no. 2(6), pp. 16–25. (in Ukrainian)
 10. Yushchenko, N.L. (2016). Ekonomiko-matematychni modeli v upravlinni ta ekonomici [Economic and mathematical models in management and economics]. Chernihiv: Chernihiv. nat. technologist University, 278 p. (in Ukrainian)
 11. Verkhovskij, D.D., Losev, V.N. & Strelova, M.D. (2002) Informacionnoe obespechenie zadach povrezhdaemosti territorialno raspredelennykh inzhenerno-tekhnicheskikh sistem [Information support of problems of damageability of geographically distributed engineering and technical systems]. *Energonadzor-inform – Energonadzor-inform*, no. 1, pp. 21–23. (in Russian)
 12. Kulakov, N.H. & Berezhnov, Y.A. (1977) Spravochnyk po ekspluatatsyy system teplosnabzheniya [Handbook on the operation of heat supply systems]. Kyiv: “Budivelnik”, 352 p. (in Ukrainian)

REFERENCES:

1. Shalygajlo, A. Analiz dosvidu zastosuvannya system opalennya, u tomu chysli individualnykh, inozemnymy derzhavamy [Analysis of the experience of heating systems, including individual, by foreign countries] / Ministerstvo z pytan zhytlovo-komunalnogo gospodarstva Ukrainy. Retrieved from: <http://www.pereobuy.com.ua/about/branch/branch-te/1416-analiz-dosvidu-zastosuvannya-sistem-opalennya-u.html> (accessed 28 November 2020).
2. Rynki teplovoj energii v stranakh ES [Heat markets in the EU countries]. *Yuzhnaya pravda – Southern truth*. 2017,