

УСУНЕННЯ ЗАГРОЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕПЛОМ ІНФРАСТРУКТУРНИХ ОБ'ЄКТІВ

Демченко В.Г., канд. техн. наук

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова, 2а, Київ, 03057, Україна

Проведено аналіз загроз забезпечення тепловою енергією населених пунктів та окремих об'єктів в умовах надзвичайних ситуацій. Розроблені методи та надані рекомендації створення стійкої перспективної системи теплозабезпечення. Запропоновано створення нового та модернізація існуючого обладнання.

Проведен анализ угроз теплоэнергоснабжения населенных пунктов в условиях чрезвычайных ситуаций. Разработаны методы и даны рекомендации создания устойчивой системы теплофикации. Предложено создание нового и модернизация существующего оборудования.

The analysis of threats of providing thermal energy of settlements and separate objects is conducted in the conditions of emergencies. Methods are worked out and recommendations of creation are given of the steady perspective system of providing a heat is worked out. Creation of new and modernisation of existent equipment are offered.

Бібл. 15, рис. 2.

Ключові слова: теплозабезпечення, система, надійність, модернізація, інфраструктура.

ТЕС – теплова електрична станція;
ТП – тепловий пункт;
НС – надзвичайні ситуації;
ДІСО – дискретно-імпульсна системи опалювання;
МТА – мобільний акумулятор теплової енергії.
 $X(t)$ – стан системи теплопостачання;

$Q(t)$ – максимальна годинна витрата теплоти;
 $R(t)$ – показник надійності системи теплопостачання;
 $K(t)$ – показник якості функціонування системи;
 D_{lim} – детермінований коефіцієнт лімітованого подання теплоносія.

Вступ

Аналізуючи тактику проведення бойових дій низької інтенсивності та гібридної війни як систему, що завдає людські, економічні, культурні й інші втрати, стає зрозуміло, що потрібен пріоритетний захист цивільного населення в місцях його постійного проживання та забезпечення стабільного функціонування інженерної інфраструктури населених пунктів. Такий захист, значною мірою, може бути реалізований шляхом гарантованого забезпечення комунальних і виробничих споживачів необхідними ресурсами в умовах деструктивних дій, основними або вторинними цілями яких є інфраструктурні об'єкти, такі як газопроводи, нафтопроводи, електрогенеруючі потужності, системи теплопостачання, водопостачання і каналізації. Це підтверджує дослідження негативних ефектів військових конфліктів останніх десятиліть на території країн Європи і Близького сходу, де значні збитки виникли за рахунок припинення енергозабезпечення населених пунктів [1, 2].

В зв'язку з цим необхідною умовою є гарантоване забезпечення тепло- та електропостачання. Відсутність теплопостачання упродовж декількох годин при мінусових температурах зовнішнього повітря призведе до виходу з ладу та руйнування системи, виробничого устаткування і виморожування житла, що призведе до того, що населений пункт перестане бути придатним для проживання і ведення повноцінної господарської діяльності.

Постановка задачі

Відомо, що теплопостачання інфраструктурних об'єктів здійснюється тепловими електричними

станціями (ТЕС), районними та автономними котельними і МІНІ-ТЕС. Розподіл теплоти здійснюється з використанням теплових пунктів (ТП), а саме центральних і індивідуальних (ЦТП і ІТП). Частина споживачів отримує теплоту безпосередньо від теплогенеруючих об'єктів. Паливопостачання теплогенеруючих об'єктів зазвичай здійснюється за допомогою магістральних газопроводів, іноді – з використанням резервного палива. Електропостачання – переважно від зовнішніх електричних мереж.

При масштабному припиненні енергопостачання відбувається як мінімум часткове припинення вироблення або постачання електроенергії. Часткове теплопостачання може зберегтися тільки на об'єктах, що забезпечуються теплом безпосередньо від МІНІ-ТЕС або від ТЕС, яким вдасться зберегти стабільну роботу турбогенераторів в умовах низьких навантажень і за відсутності зовнішньої електричної мережі, що стабілізує частоту струму. Експлуатація об'єктів, особливо у забезпеченні теплом за допомогою ЦТП і ІТП з розділеними тепловими контурами, зупиняється повністю. Основні групи причин, які можуть привести до аварійної ситуації: – зовнішні чинники природного і техногенного характеру, які обмежують подання первинних ресурсів, таких як пальне, електроенергія і теплоносій; – внутрішні техногенні чинники, пов'язані з відмовами будь-яких компонентів системи теплопостачання; – людський чинник, який може відноситися як до зовнішніх, так і до внутрішніх чинників або їх комбінації; – військові дії, тероризм і саботаж [3].

Системи теплопостачання мають велике економічне і соціальне значення, тому до надійності

їх функціонування пред'являють особливо високі вимоги. Метою даної роботи є розробка рекомендацій по підготовці енергетичного обладнання та устаткування для швидкого налагодження роботи теплопостачання та забезпечення стабільної роботи інфраструктурних об'єктів в умовах надзвичайних ситуацій (НС). Нажаль, в Україні не приділяється достатньої уваги цим актуальним питанням і чинні нормативні документи потребують перегляду [5, 6].

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішення наступних завдань: – провести оцінку надійності систем теплопостачання; – сформулювати основні критерії надійності теплових систем та методику їх розрахунку; – розглянути питання проектування та оптимізації теплових мереж для забезпечення надійності експлуатації; – запропонувати методи резервування теплової здатності системи та використання перспективного устаткування об'єктів інфраструктури; – провести оцінювання технічної й економічної доцільності

експлуатації запропонованих установок і технологічних схем в умовах НС.

Керування надійністю систем теплопостачання

Керування надійністю полягає в обґрунтуванні рішень, що забезпечують виконання вимог до сталого теплопостачання споживачів [6, 7].

Перевірка ефективності запланованих до реалізації заходів по забезпеченню надійного теплопостачання споживачів здійснюється шляхом моделювання, розрахунку нових значень показників надійності і їх зіставлення з нормативними значеннями. Якщо означені умови не виконуються, склад заходів включає: – введення або збільшення об'єму резервування мережі шляхом облаштування аварійних перемичок (рис. 1); – зниження часу відновлення теплопостачання після відмов; – секціонування мережі; – збільшення діаметрів теплопроводів; – збільшення тиску теплоносія на колекторах джерела.

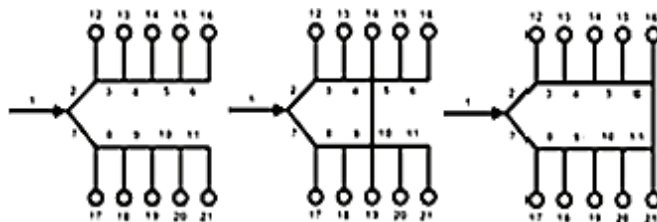


Рис. 1. Збільшення об'єму резервування теплової мережі.

При ухваленні рішень про введення або збільшення об'єму резервування спочатку слід резервувати головну частину мережі та, при необхідності, нарощуючи об'єм резервування до периферії. Діаметри перемичок слід вибирати по найбільшому діаметру суміжних ділянок мережі. Для варіантів резервування моделюються і розраховуються післяаварійні гідравлічні режими, що відповідають відмовам елементів кільцевої частині мережі і перевіряється, чи забезпечуються споживачі під час ліквідації нормою аварійної подачі теплоти. Розробка рекомендацій, моделювання і аналіз результатів виконуються послідовними ітераціями до тих пір, поки буде знайдений оптимальний варіант програми заходів, що дозволяє в перспективі підвищити надійність теплопостачання споживачів до потрібного нормативами рівня [8].

Системи теплопостачання відносяться до складних технічних систем, тому їх надійність, включаючи резервовану і нерезеровану частини, оцінюють показниками якості функціонування. Кожному стану системи теплопостачання $\dot{X}(t)$ дається порівняльна розрахована максимальна годинна витрата теплоти $Q_x(t)$. Ця витрата залежить тільки від стану системи і дає чисельну оцінку можливості виконання завдання. В процесі функціонування системи вектор $\dot{X}(t)$ змінюється випадковим чином, за таким же законом змінюється і характеристика якості функціонування $Q_x(t) = Q_x[\dot{X}(t)]$. За показник якості функціонування системи у момент t приймається математичне очікування випадкової

функції $Q_x[\dot{X}(t)]$, як середнє значення безлічі спостережень випадкового процесу.

Показник надійності системи теплопостачання $R(t)$ визначають, як відношення показника якості функціонування реальної системи $K(t)$ до показника якості ідеальної системи $K^u(t)$. Ідеальна система знаходиться в справному стані і всі компоненти вектору $\dot{X}(t)$ дорівнюють одиниці

$$R(t) = K(t) / K^u(t).$$

При різних станах системи $\dot{X}(t)$ в аварійному стані знаходиться різне число споживачів і сумарна недостача теплоти визначає зниження показника якості функціонування. Такий підхід дещо не коректний до джерел теплоти і насосних станцій, але відповідає поняттю відмови, по теорії надійності і прийнятій нами характеристиці якості функціонування системи.

Показник надійності системи теплопостачання $R(t)$ має імовірнісний характер і визначає структуру, структурний резерв й імовірнісну надійність системи теплопостачання. Для визначення транспортного резерву з урахуванням діаметрів трубопроводів, допустимого зниження температури усередині будівлі, обліку теплоакumuлюючої здатності об'єкту дослідження і часу усунення аварії для проведення розрахунків вводиться детермінований коефіцієнт лімітованого подання теплоносія D_{lim} .

Обидва показники дають уявлення про надійність системи теплопостачання в цілому. Зважаючи на складність визначення даних, в розрахунках показника

D_{lim} його прийнято приймати по числових значеннях вибраного діапазону виміру початкової інформації [9].

Слід зазначити, що ці показники застосовуються при проектуванні теплових мереж. Підготовка теплових мереж до експлуатації в аварійних режимах призводить до додаткових капітальних витрат, але міняє пропускну спроможність системи, що дозволяє економити електричну енергію на циркуляцію теплоносія.

Живучість системи

Мінімальне подання теплоти по тепломережам, розташованим в неопалюваних приміщеннях і зовні, в під'їздах, сходових клітинах, на горищах і тому подібне, повинно забезпечувати температуру води впродовж усього ремонтно-відновного періоду не нижче 3 °С. У проектах резервування мають бути розроблені заходи по забезпеченню живучості елементів систем теплопостачання, можливих дій негативних температур, у тому числі:

- організація локальної циркуляції мережевої води в теплових мережах до і після ЦТП;
- спуск мережевої води з систем теплопостачання у споживачів, розподільних теплових мереж, транзитних і магістральних теплопроводів;
- прогрів і заповнення теплових мереж і систем теплопостачання споживачів в час і після закінчення ремонтно-відновних робіт;
- перевірка елементів теплових мереж на достатність запасу міцності устаткування і компенсуючих пристроїв;
- забезпечення необхідного закріплення безканалних теплопроводів при можливих затопленнях;
- тимчасове використання пересувних джерел теплоти.

Методи та рекомендації створення стійкої системи теплозабезпечення

При проектуванні нових теплових мереж може бути використана тритрубна система транспорту теплоносія. В цьому випадку по одному з трубопроводів теплоносій подається споживачеві, а по двом іншим повертається назад. У разі аварії пошкоджений трубопровід відключається, а для опалювання використовуються робочі. Можливий варіант тритрубною системи, коли два трубопроводи – подаючі, а один – зворотний. В цьому випадку влаштовують додаткові перемички між ними, які дозволяють регулювати напрям руху теплоносія. З точки зору стабільності гідравлічних режимів і ремонтпридатності тритрубна тепломагістраль прийнятніша за двотрубну. Проте капітальні витрати на її будівництво на 30 % є вищими.

Нами провадяться дослідження систем централізованого опалення, а саме: теплофізичні дослідження процесів та технологій у теплоенергетичному обладнанні та розробка методів підвищення ефективності його роботи, надійності та екологічної безпеки. Наприклад, теоретично розроблено обґрунтування транспорту теплоносія при проектуванні коаксіальних теплових мереж. Проведено математичне моделювання, визначені умови ефективності, розроблена конструкторська технічна документація для виго-

товлення коаксіальних трубопроводів. Сформульовані критерії ефективності використання коаксіальних труб для будівництва нових та модернізації існуючих теплових мереж. Доведено, що капітальні витрати на будівництво, в порівнянні з двотрубною тепломережею, на 30 % нижчі, а стійкість до зовнішніх чинників при експлуатації – значно вищі [10,11].

Для локального опалювання окремих приміщень можуть бути використані печі тривалого горіння "Рекорд", розробки ІТТФ НАНУ [12,13]. Призначення: для опалювання житлових та допоміжних приміщень площею 20...40 м² та для приготування їжі. Технічні характеристики: номінальна теплопродуктивність – від 2 кВт до 4 кВт; вид палива – тріска, дерев'яні пелети, дрова, буре вугілля, торф, злаки, солома; температура вихідних газів – до 200 °С; ККД = 75 %; низька емісія забруднюючих речовин; вага – 50 кг. Переваги: підтримання заданої температури в приміщенні \approx 20 °С при мінімальних витратах палива; додаткове обладнання печі дозволяє виробляти електричну енергію 12 В, 100 Вт [14].

Традиційні тепломережі характеризують значні втрати теплоти, нетривалі терміни експлуатації й уразливість при НС. Нами запропонований мобільний тепловий акумулятор МТА для транспортування теплової енергії та впровадження дискретно-імпульсної системи опалювання ДІСО на протигагу звичайній системі трубопровідного транспорту. На рис. 2 наведена технологічна схема теплопостачання ДІСО. Очікується, що хімічні акумуляуючі системи зберігання теплоти дають значно більш високу щільність зберігання теплоти, ніж вода. Згідно літературних джерел, на цьому принципі в Німеччині проходить випробування пілотний проект з тринадцятитонним контейнером-теплоакумулятором [15]. Теплова потужність теплоакумулятора дорівнює 500 кВт, температура – 180 °С, що дає змогу отримати близько 3,5 МВт·год. на одному циклі заряджання. Дистанція транспортування автомобілем від джерела теплоти (скидна теплота хімічного процесу) до споживача складає 10 км. Система акумуляції за допомогою водяного об'єму 5000...10000 м³ дозволяє отримати 70...90 кВт/м³ в той час, як використовувані нами солігидрати – до 280 кВт/м³.

Запропонована технологічна схема ДІСО дозволяє використовувати всі відомі види газових та рідких палив, твердих відходів, біологічних палив, альтернативних джерел теплоти, тощо. Інтеграція МТА в систему центрального та автономного опалення значно зменшує собівартість теплової енергії, збільшує акумуляуючу здатність системи теплопостачання, сприймає пікові навантаження та має екологічну привабливість. ДІСО дозволяє відмовитися від транспортування теплоносія магістральним трубопровідним транспортом. Таке рішення дозволяє виконати транспортування теплової енергії наземним, морським, річковим та навіть повітряним транспортом. У випадку стаціонарного розміщення МТА в системах централізованого теплопостачання та системах опалення окремих об'єктів виникає можливість сталого теплозабезпечення не тільки в мирний час, але і в період ведення бойових дій

та надзвичайних ситуацій. Окрім того, це призведе до підвищення енергоефективності роботи міських систем теплопостачання, економії традиційних органічних

палив, зменшення питомої вартості виробництва та доставки одиниці теплової енергії кінцевому споживачеві, зменшення концентрації шкідливих викидів тощо.

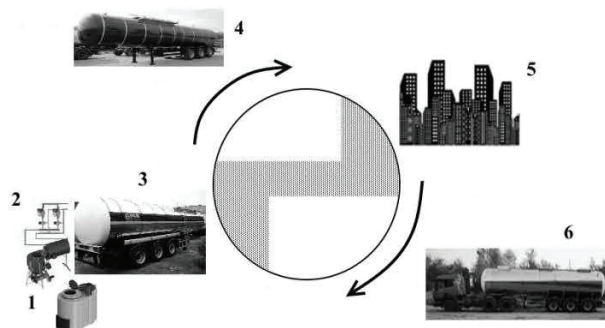


Рис. 2. Система теплопостачання ДІСО.

1 – теплогенератор; 2 – водяний циркуляційний контур; 3 – теплоаккумулятор МТА; 4 – подача теплоносія; 5 – споживач; 6 – повернення МТА на зарядку.

Висновки

Створення методичних засад, устаткування й обладнання для усунення загрози інфраструктурній безпеці населених пунктів є актуальною державною задачею. Її вирішення дозволить:

- створити стійку систему теплозабезпечення як до терористичних атак, так і до руйнівних природних явищ, у тому числі кліматичних катастроф локального і глобального характеру;
- попередню підготовку об'єктів інженерної інфраструктури до експлуатації в умовах НС;
- широке використання місцевих, у тому числі поновлюваних джерел енергії при відсутності традиційних видів палива;
- економічна ефективність автономних систем дозволяє забезпечити наявність раціонального терміну окупності, порівняно з існуючими централізованими системами теплопостачання. Проведені дослідження підтверджують доцільність використання запропонованих технічних рішень і створення нової системи теплопостачання ДІСО для подальшого впровадження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Pederson P., Dudenheffer D., Hartley S., Permann M. Critical Infrastructure Interdependency Modeling: A Survey of U.S. and International Research – Idaho Falls, Idaho: Idaho National Laboratory, 08.2006, 126 p.
2. Кондратьев А. Современные тенденции в исследовании критической инфраструктуры в зарубежных странах - М: Зарубежное военное обозрение № 1, 2012 год, 19–30 с.
3. Руководство по передовой практике защиты важнейших объектов неядерной энергетической инфраструктуры от террористических актов в связи с угрозами, исходящими от киберпространства – Вена: ОБСЕ, Uberreuter Print GmbH, 2013 год, 96 с.

4. ПРАВИЛА технічної експлуатації теплових установок і мереж, затвержено наказом Мінпаливенерго України 14.02.2007 № 71 зі змінами і доповненнями, від 12 січня 2010 року.

5. Постанова КМУ №397 від 17.05.2012р., Середньострокові пріоритетні напрями інноваційної діяльності галузевого рівня на 2017–2021 с.

6. ПРАВИЛА технічної експлуатації систем теплопостачання комунальної енергетики України, зі змінами від 29.12.2004 .

7. ДБН В.2.5-39:2008, ТЕПЛОВІ МЕРЕЖІ, Мінрегіонбуд України.

8. Методика и алгоритм расчета надежности тепловых сетей при разработке схем теплоснабжения городов – М: Газпромпромгаз, 2013 – 105 с.

9. Ионин А.А. Надёжность систем тепловых сетей. – М: Стройиздат, 1989 – 268 с.

10. Демченко В.Г., О.В. Дуняк О.В., Свтушенко О.В. Порівняльна оцінка ефективності системи транспортування теплоносія на базі коаксіальних труб, Промышленная теплоэнергетика – 2016 – Т.38, № 5. – с. 39–47.

11. Патент України на корисну модель № 105366 «Двотрубна теплова мережа з коаксіально розташованими трубопроводами», 10.03.2016р.

12. Демченко В.Г. Організація виробництва та впровадження вітчизняних опалювально-варильних печей, Промышленная теплотехника. – 2014 – Т.36, №6. – С. 29–38.

13. Патент України на корисну модель № 111623 «Опалювально-варильна піч», 25.11.2016р.

14. Патент України на корисну модель № 106667 «Водяний охолоджувач термоелектричного генератора», 10.05.2016р.

15. Thermal Energy Storage | Technology Brief, IEA-ETSAP and IRENA© Technology Brief E17 – January 2013, pp. 10–13.

REMOVAL THREATS OF PROVIDING HEAT OF INFRASTRUCTURAL OBJECTS

V. Demchenko

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, vul. Zhelyabova, 2a, Kyiv, 03680, Ukraine

In this article the threats of providing thermal energy of settlements are set forth in the period of conduct of battle actions and emergencies. Management questions are considered by the system of providing and preparation of objects a heat to the emergency external environments. Reliability indexes and mathematical vehicle are indicated for realization of calculations. Considered requirement to vitality of the heating system. Methods and equipment are offered for creation of the steady system heating having large prospects.

References 15, figures 2.

Key words: providing, heat system, reliability, modernisation, infrastructure

1. Pederson P., Dudenheffer D., Hartley S., Permann M. Critical Infrastructure Interdependency Modeling: A Survey of U.S. and International Research. Id ahoy Falls, Idaho: Idaho National Laboratory, 08.2006, 126 p.

2. Kondratyev A. The Modern tendencies in research of critical infrastructure in foreign countries. M: Foreign military review № 1, 2012 year, 19–30 p.

3. *Anführung fuer fortgeschrittene Praktik des Schutz der vornehmsten Objekte der nicht Kernenergie der Infrastruktur ab terroristischen Akten gelegentlich Androhungen, die ab Kibersraums.* Vienna ausgehend ist: OBSE, Uberreuter Print GmbH, 2013 Jahr, 96 c.

4. *RULES of technical exploitation* of thermal options and networks, by the ratified order of Mintopenegy of

Ukraine 14.02.2007 N 71 with changes and additions, from January, 12, 2010.

5. *Decision of KMY №397* from 17.05.2012., Medium-term priority directions of innovative activity of branch level on 2017–2021.

6. *RULES of technical exploitation* of the systems of providing with a heat of communal energy of Ukraine, with changes from 29.12.2004.

7. *DBN B.2.5-39: 2008, THERMAL NETWORKS*, Minregionbud Ukraine.

8. *Methodology and algorithm of calculation* of reliability of thermal networks at development of charts of providing with a heat of cities are M: Gasprom promgas, 2013. 105 p.

9. *Ionin A.A.* Reliability of the systems of thermal networks. it is M. Stroyizdat, 1989. 268 p.

10. *Demchenko V.G., O.V. Dunjak O.V., Ewtuschenko O.V.* Comparative estimation of efficiency of the system of transporting of coolant-moderator on the base of coaxial pipes, Industrial thermal energy. 2016. T.38, № 5. p. 39–47.

11. *Patent of Ukraine* on a useful model № 105366 the "2-pipe thermal network with the coaxially located pipelines", 10.03.2016p.

12. *Demchenko V.G.* Organization of production and introduction home for heating-cooking stoves, Industrial heating engineering. 2014. T.36, №6. C. 29–+9+38.

13. *Patent of Ukraine* on an useful model № 111623" Heating-cooking stoves", 25.11.2016.

14. *Patent of Ukraine* on an useful model № 106667 the "Aquatic cooler of thermo-electric generator", 10.05.2016.

15. *Thermal Energy Storage* | Technology Brief, IEA-ETSAP and IRENA© Technology Brief E17. January 2013, pp. 10–13.

Получено 07.04.2017
Received 07.04.2017