

О. Г. ГРИБ, І. Т. КРАПАЛЮК, Т. С. ДОНЕЦЬКА, Я. Д. ДЕГТЯР, О. В. ПИШНИЙ

ЕНЕРГЕТИЧНА СТІЙКІСТЬ МЕДИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ПІД ЧАС ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

Розглядається питання щодо підвищення надійності роботи об'єктів в енергетичній системі України. Показано, що питання енергозабезпечення об'єктів суспільного користування отримало нові вимоги під час війни. Особливо такі вимоги тепер ставляться до медичних об'єктів. Основними видами енергії для медичних закладів є постачання електричної і теплової енергії. Для України, виходячи із кліматичних особливостей, характерні витрати теплової енергії значно більших обсягів, ніж інших видів енергії. Тому одним із важливих кроків по зменшенню споживання енергії є тепло модернізація будівель. В даній роботі розглядається загальна система енергопостачання, яка включає не тільки теплопостачання, але й електропостачання. Потрібна не тільки наявність самої електрики в мережі, а й її відповідність вимогам якості. Однією з найбільш критичних до якості електричної енергії є медичні електротехнічні комплекси. Від роботи яких залежить правильність діагнозу та підтримання життєдіяльності організму хворого. Запропоновано оцінювати стан енергопостачання через модель взаємної пов'язаності енергій. Тому якісні зміни в показниках теплової енергії не можуть бути компенсовані за рахунок саме мережевих рішень. Підтримання температури в приміщеннях можливе саме за рахунок використання інших джерел тепла. В термінах моделі зв'язності енергій – єдиний шлях для вирівнювання «тіла енергоспоживання» є взаємна заміна однієї енергії іншою. Визначені варіанти вирівнювання «тіла енергоспоживання» для медичних установ. Запропоновано представлення «тіла енергоспоживання» із відображенням якісних меж форми «тіла енергоспоживання» по відношенню до теплової енергії. Введено поняття меж енергетичної стійкості за якісними показниками. Виділено низку заходів по підтримці енергетичної стійкості. Для досягнення найдовшої відповідності якісним показникам енергопостачання запропоновано – відключення частини приміщень від системи енергопостачання із збереженням групи енергопостачання для тих приміщень що залишаться. Зазначено, що використовуючи критерій енергетичної стійкості, можливо проаналізувати будівельні конструкції і технологічні процеси в самих будівлях із метою вироблення заходів по підвищенню енергетичної стійкості із заданою направленістю.

Ключові слова: втрати теплової енергії, пов'язаність енергій, тіло енергоспоживання, енергетична стійкість, межа енергетичної стійкості, енергетична стійкість за якісними показниками.

O. GRUB, I. KRAPALYUK, T. DONETSKA, Y. DEHTIAR, O. PYSHNYI

ENERGY RESISTANCE OF MEDICAL FACILITIES DURING TRANSIENT OPERATION MODES OF THE ENERGY SYSTEM

The question of increasing the reliability of the operation of objects in the energy system of Ukraine is under consideration. It is shown that the issue of energy supply of public facilities received new requirements during the war. Especially such requirements now apply to medical facilities. The main types of energy for medical institutions are the supply of electrical and thermal energy. For Ukraine, on the basis of climatic features, the consumption of thermal energy is much larger than that of other types of energy. Therefore, one of the important steps to reduce energy consumption is thermal modernization of buildings. This paper considers the general energy supply system, which includes not only heat supply but also electricity supply. It is necessary not only to have the electricity itself in the network, but also to meet the quality requirements. Medical electrotechnical complexes are one of the most critical to the quality of electrical energy. Correct diagnosis and maintenance of vital activity of the patient's organism depend on their work. It is proposed to assess the state of energy supply through the model of mutual dependence of energies. Therefore, qualitative changes in thermal energy indicators cannot be compensated for by network solutions. Maintaining the temperature in the premises is possible precisely due to the use of other heat sources. In terms of the energy connectivity model, the only way to equalize the "body of energy consumption" is the mutual replacement of one energy by another. Variants of equalization of the "body of energy consumption" for medical institutions are defined. A presentation of the "body of energy consumption" is proposed, with a reflection of the qualitative limits of the shape of the "body of energy consumption" in relation to thermal energy. The concept of the limit of energy sustainability according to qualitative indicators is introduced. A number of measures to support energy sustainability have been identified. In order to achieve the longest compliance with energy supply quality indicators, it is proposed to disconnect part of the premises from the energy supply system while preserving the energy supply group for those premises that will remain. It is noted that using the criterion of energy sustainability, it is possible to analyze construction structures and technological processes in the buildings themselves in order to develop measures to increase energy sustainability with a given direction.

Keywords: thermal energy losses, energy connection, energy consumption body, energy sustainability, energy sustainability limit, energy sustainability by qualitative indicators.

Постановка проблеми. Питання енергозабезпечення об'єктів суспільного користування отримало нові вимоги під час війни. Особливо такі вимоги тепер ставляться до медичних об'єктів. Підтримання життя є обов'язковою вимогою не тільки для однієї людини, але й для суспільства в цілому.

Енергозабезпечення включає в себе і постачання електричної енергії і постачання теплової енергії. Ці два види енергії є основними для громадських закладів. І виходячи із кліматичних особливостей, для України характерні витрати теплової енергії значно більших обсягів, ніж інших видів енергії.

Інтеграція з Європейським союзом вимагає від народного господарства України переходити на технології енергозбереження. Тепло модернізація

будівель і споруд – це найбільш чутливі кроки по збереженню енергії. На рис. 1 наведена у загальному вигляді структура тепло модернізації будівель.

Всі кроки по тепло модернізації з метою скорочення споживання теплової енергії можна розбити на два напрями: технічні заходи і організаційні заходи.

Найбільш очевидні технічні заходи – це саме зменшення витоків теплової енергії через існуючі отвори (вікна, двері), за рахунок встановлення сучасних теплоізолюваних вікон і дверей. Виходячи з того, що найбільші втрати тепла проходять саме в існуючих отворах. І враховуючи, що вікна і двері мають значний знос. Така заміна має не тільки ефект по зменшенню витрат тепла в приміщеннях, а й надає

добрий естетичний вигляд. Проведення таких змін в приміщеннях в першу чергу кидається в око. Тому в більшості випадків теплодернізація виконується саме таким чином, і на цьому і завершується.



Рис. 1. Загальна структура теплодернізації будівель

Переважну більшість будівельних споруд медичних закладів було побудовано в радянські часи. І всі такі будівлі мають значні вади з точки зору тепловитрат зовнішніх огорожувальних конструкцій. Тому для будівель медичного призначення необхідно проводити утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій. До яких відносять стіни, дахи, криті переходи і інші. Виконання таких робіт має сенс в тому випадку, коли були проведені інженерні обстеження і створений проект із розрахунками по тепловому стану об'єкта. Така робота є більша за витратами матеріалів і годин роботи. Але для досягнення певних величин економії теплової енергії без таких заходів неможливо [1].

Навіть якщо були проведені роботи по встановленню нових вікон і дверей і виконано утеплення огорожувальних конструкцій, то будівля може залишитися «холодною» або навіть «душною». І при цьому витрати теплової енергії можуть навіть не змінитися. Для досягнення ефекту економії безумовно необхідно налагодити теплову систему будівлі на нові витрати тепла, встановити теплорегулятори.

Ще одна група заходів з теплодернізації будівель – це організаційні заходи, до яких відносяться: проведення енергоаудиту і проведення навчання персоналу, що обслуговує будівлю.

Проведення енергоаудиту дозволяє створити енергетичний паспорт. За результатами енергоаудиту створюють карту енерговитрат будівлі і розробляють методичні рекомендації по підтриманню показників енергоспоживання на певному рівні.

Без проведення навчання персоналу не можливо досягти визначених меж витрат енергії. Тому навчання персоналу є таким же важливим елементом теплодернізації будівлі, як всі описані вище. Від якості навчання може залежати стан енергоспоживання. Зменшити участь людини в регулюванні теплових потоків може повністю автоматична система регулювання. Але такі системи поки що занадто дорогі, тому поки вартість енергії не зростає, а вартість автоматики не зменшиться до певної величини, використання таких автоматичних систем в будівлях медичного призначення поки не можливе.

Звичайно, що повної теплодернізації всіх будівель в Україні ще не проведено. Але для найбільш

чутливих сфер така робота ведеться. Так заклади медицини відносяться до критичної інфраструктури. Тому відсоток проведення основних заходів з теплодернізації вже виконано. Наприклад, здебільшого виконано заміну вікон і проведено технічне обслуговування системи теплопостачання [2, 3].

Міські заклади медичного обслуговування населення підключені до мережі центрального теплопостачання. Що є технічно зручним, бо підтримання в роботі системи теплопостачання покладено на спеціалістів міських теплових мереж. Але в умовах ризиків порушення роботи єдиної системи енергопостачання, централізована система потребує резервування, або дублювання.

В даній роботі розглядається загальна система енергопостачання, яка включає не тільки теплопостачання, але й електропостачання.

Що до системи електропостачання, то сама мережа електропостачання має дублювання, і тому є доволі надійною. Потреба в електриці є відповідальною. Від наявності електрики може залежати життя людини. Тому для підтримання в роботі електричних систем, для закладів медицини встановлюють двигуни-генератори.

Потрібна не тільки наявність самої електрики в мережі, а й її відповідність вимогам якості [4].

Однією з найбільш критичних до якості електричної енергії є медичні електротехнічні комплекси. Від роботи яких залежить правильність діагнозу та підтримання життєдіяльності організму хворого.

До такого обладнання належать комп'ютери томографи, апарати ультразвукового обстеження, лінійні прискорювачі, рентген-апаратура, апарати штучної вентиляції легень.

Однією з найбільш значимих тенденцій у розвитку охорони здоров'я є «цифровізація» медичних технологій. При цьому в умовах загальної «інтернетизації» дедалі актуальнішими стають проблеми забезпечення кібербезпеки інформаційних та технологічних систем. Останнім часом помітно зросла кількість інцидентів, пов'язаних з несанкціонованим зовнішнім впливом (НСВ) на медичні системи медичного обладнання та цифрову медичну техніку (МТ), до складу якої входить програмне забезпечення (ПЗ) та/або мікропрограмний блок управління (контролер, процесор), наприклад, на томографи, лабораторні аналізатори, кардіостимулятори та інсулінові помпи. Результатами реалізації зазначених кіберзагроз у випадку можуть бути: відмова – втрата працездатності систем мед. обладнання та/або МТ, несанкціонована зміна режиму та параметрів функціонування МТ. Зауважимо, що у США, починаючи з 2013 р., FDA (www.fda.gov) здійснюється моніторинг інцидентів, пов'язаних із кібервпливом на цифрову медичну техніку. Очевидно, що порушення працездатності цифрової МТ, викликане несанкціонованим зовнішнім кібервпливом, може мати найсерйозніші наслідки для здоров'я пацієнта та/або персоналу.

При проектуванні електричних систем для госпіталів потрібна ретельна перевірка низки факторів, які спільно гарантують забезпечення двох по суті протилежних питань: захист та безперервність роботи.

Медична електрична система – комплекс устаткування, по крайнього заходу одна одиниця якого є медичним електрообладнанням, з'єднаним із іншим устаткуванням функціонально чи з допомогою електричних роз'ємних з'єднань. До складу медичної електричної системи входять приладдя, необхідні для забезпечення працездатності системи, та наведені в інструкції з експлуатації.

Медичні електричні системи є групою електричних медичних пристроїв або електричних медичних та немедичних пристроїв, з'єднаних електрично для передачі сигналів або даних і мають спільне живлення. Наприклад, пристрій, що контролює фізіологічні параметри пацієнта та передає відповідні дані іншому устаткуванню, яке, у свою чергу, обробляє ці параметри.

Медичні приміщення поділяються на групи 0, 1 та 2 (табл. 1).

Таблиця 1 – Типи медичних приміщень

№	Тип приміщення	0 група	1 група	2 група
1	Масажне приміщення	*	*	
2	Палати		*	
3	Пологова палата		*	
4	Приміщення для ЕКГ, ЕЕГ, ЕНГ та ЕМГ		*	
5	Приміщення для ендоскопії		*	
6	Амбулаторне відділення	*	*	
7	Урологічне відділення		*	
8	Приміщення для радіології та променевої терапії		*	
9	Приміщення для гідротерапії		*	
10	Приміщення для психотерапії		*	
11	Приміщення для анестезії			*
12	Операційна			*
13	Приміщення для підготовки до операції		*	*
14	Кімната для гіпсування		*	*
15	Післяопераційне приміщення		*	*
16	Приміщення для встановлення середніх катетерів			*
17	Приміщення інтенсивної терапії			*
18	Приміщення для ангіографії та гемодинамічного аналізу			*
19	Приміщення для гемодіалізу		*	
20	МРТ-приміщення		*	
21	Приміщення для радіаційної медицини		*	
22	Приміщення для недоношених дітей			*

Приміщення групи 0: медичні приміщення, де не передбачається використання контактуючих частин.

Наприклад, амбулаторні відділення та масажні приміщення, в яких не використовуються електромеханічні пристрої.

Приміщення групи 1: медичні приміщення, в яких передбачається внутрішнє або зовнішнє застосування контактуючих частин для будь-яких частин тіла, крім зони серця.

У цих приміщеннях електромеханічні пристрої з робочою частиною використовують як внутрішньо, так і зовнішньо для будь-яких частин тіла пацієнта, за винятком зони серця.

Приміщення групи 2: медичні приміщення, в яких контактуючі частини передбачається використовувати для внутрішньосерцевих процедур, операційних для показових операцій і при виконанні інших життєво важливих лікувальних процедур, коли припинення (збій) електропостачання становить небезпеку для життя пацієнта.

Електричні системи у медичних приміщеннях групи 2 мають високий рівень складності. Це приміщення, в яких електромедичні пристрої з катетерами, рідинами, що проводять, або електродами використовуються в зоні серця або безпосередньо на серці пацієнта, внаслідок чого виникає небезпека мікрошоку. До групи 2 також відносяться приміщення, в яких з пацієнтами проводяться життєво важливі процедури та перебої в електроживленні можуть призвести до ризику для життя, а також кімнати для підготовки до операцій, операційні та післяопераційні приміщення для пацієнтів, щодо яких виконувалася загальна анестезія. При цьому великі вимоги пред'являються і до вищих систем живлення. Розробник повинен точно оцінити можливі варіанти на відповідність чинним стандартам та конкретним технічним умовам.

Медичні приміщення також можуть складатися з групи кімнат, якщо вони функціонально з'єднані, причому вони можуть не повідомлятися безпосередньо, і бути призначені для діагностики, лікування, проведення хірургічних операцій, спостереження за пацієнтами та реабілітації (включаючи косметологічні операції). Наприклад, функціонально з'єднаними кімнатами можна назвати операційну кімнату для проведення процедур перед анестезією та післяопераційне приміщення. Медичні приміщення є приміщеннями з більшою небезпекою електричного ураження, оскільки пацієнти перебувають у вразливішому стані і піддаються впливу електричних пристроїв. Тому для забезпечення максимальної безпеки пацієнтів для електричних систем слід використовувати спеціальні технології.

До складу медичної електричної системи входять приладдя, необхідне для забезпечення працездатності системи, та наведене в інструкції з експлуатації.

Медичні електричні системи є групою електричних медичних пристроїв або електричних медичних та немедичних пристроїв, з'єднаних електрично для передачі сигналів або даних і мають спільне харчування. Наприклад, пристрій, що контролює фізіологічні параметри пацієнта та передає відповідні дані іншому устаткуванню, яке, у свою

чергу, обробляє ці параметри для надання необхідної для діагностики інформації [5].

У побуті в останні роки широкого поширення набули телевізори, комп'ютери та інші пристрої, що працюють на постійному струмі через вторинне джерело живлення та погіршують якість електричної енергії в мережі живлення [6]. У результаті виник свого роду парадокс: застосування нових технологій, які економічні та технологічно ефективні, які покращують життя людей, негативно позначається на якості електричної енергії в електричних мережах [4, 7].

В роботі [8] було показано, що «В нашому кліматі найбільший обсяг споживаємої енергії є теплова енергія. Тому недостача теплової енергії, або її низька якість має компенсуватися іншими типами енергії споживання споживача. Так як електрична енергія є найуніверсальнішою, то її використовують в першу чергу для вирівнювання тіла енергетичного споживання. Таке споживання призводить до погіршення якості електричної енергії.»

Взаємна пов'язаність енергій визначена моделлю зв'язаності енергій.

Закладені мережі для постачання теплової енергії в містах не мають системи дублювання. Тому якісні зміни в показниках теплової енергії не можуть бути компенсовані за рахунок саме мережевих рішень. І підтримання температури в приміщеннях можливе саме за рахунок використання інших джерел тепла. А саме за рахунок отримання тепла від електронагрівальних приладів. В термінах моделі зв'язаності енергій – єдиний шлях для вирівнювання «тіла енергоспоживання» є взаємна заміна однієї енергії іншою.

Можна визначити варіанти вирівнювання «тіла енергоспоживання» для медичних установ:

- зменшення температури теплоносія в мережі теплопостачання (недостатня кількість енергії) при повній працездатності електричної мережі;
- відсутність теплової енергії з мережі теплопостачання (аварія на мережі теплопостачання) при повній працездатності електричної мережі;
- відсутність теплової енергії з мережі теплопостачання (аварія на мережі теплопостачання) відсутності електропостачання (робота від локального дизельного генератора).

Зрозуміло, що підтримання внутрішніх температурних режимів приміщень можливо лише у випадку, коли кількість енергії замінника може бути порівняна із недостатньою кількістю теплової енергії (рис. 2).

В термінах «тіла енергоспоживання» результат досягається коли після дії різних факторів і прийнятих протидій замінника однієї енергії на іншу площа тіла енергоспоживання S_1 до виникнення дії і S_2 після виникнення дії залишається незмінною (рис. 3).

В графічному представленні «тіла енергоспоживання» можна відобразити якісні межі форми «тіла енергоспоживання» по відношенню до теплової енергії (рис. 4).

Графічне представлення норм S_{min} – мінімум енергоспоживання S_{max} – максимум енергоспоживання відповідно до якісних вимог за кількісним параметром.

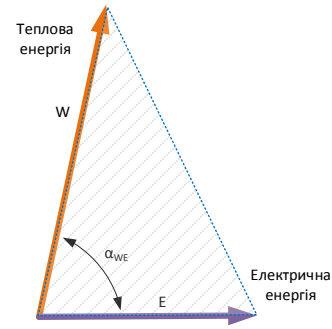


Рис. 2. Тіло енергоспоживання

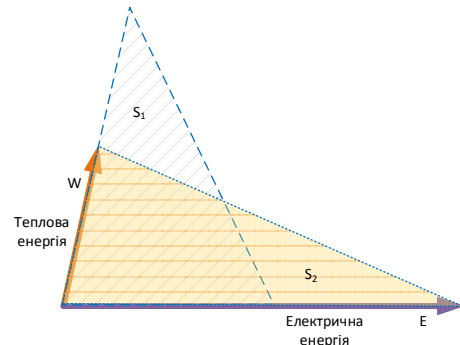


Рис. 3. Рівність площі тіла енергоспоживання після дії різних факторів

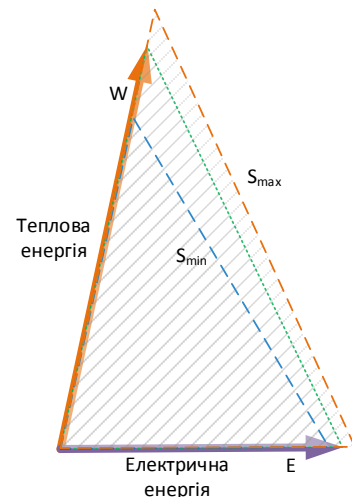


Рис. 4. Різниця площ тіла енергоспоживання відповідно до якісних вимог за кількісним параметром

Якість електричної енергії має значну кількість параметрів більшу за кількість параметрів якості теплової енергії (граней у термінах «тіла енергоспоживання»). Але при підвищенні споживання електричної енергії, збільшення обсягу споживання по потужності до деякої величини більше ніж на певну межу зростають і інші параметри неякості електрики. В неякості електрики в такому разі може захопити не один – два параметри а більшу кількість. І в такому випадку загальний стан якості електричної енергії знизиться до такої межі, коли використання складних приладів буде під загрозою. Що для медичних установ є не просто важливою, а над важливою умовою. Від правильності роботи електронних приладів може залежати життя людини.

Пропонується ввести оцінку загального стану

енергоспоживання підприємства. І такою оцінкою описувати досягнення межі в енергоспоживанні, коли якісні параметри вийдуть за межі допустимих, для безпечної роботи пристроїв і виконання персоналом своїх завдань. Таку оцінку можна назвати межею енергетичної стійкості.

Енергетична стійкість описує тільки перехідні режими енергопостачання підприємств. Під час нормальних режимів енергопостачання вся енергія, що потрібна для функціонування приладів і систем підприємства береться із мережі із необмеженою потужністю. При виникненні якихось аварій, або обмежень в мережі енергопостачання, підприємство може деякий, обмежений час, покривати свої енергопотреби за рахунок різних змін схеми енергопостачання, або за рахунок локальних джерел енергії.

Основний енергетичний потік, для підприємств в Україні припадає на теплову енергію, тому розрахунок тіла енергоспоживання і буде вестися таким чином, що за базову величину приймемо саме теплову енергію. Із фізичних особливостей всі матеріальні об'єкти мають теплову інерцію (рис. 5).

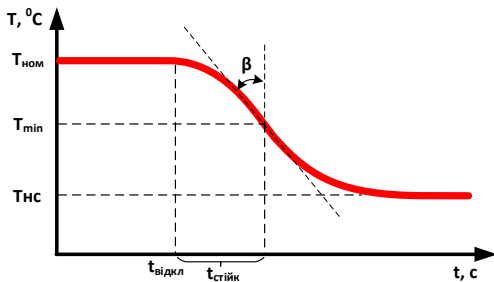


Рис. 5. Теплова інерція приміщень

На рис. 5 $T_{ном}$ відповідає номінальному рівню температури в приміщеннях. $T_{мін}$ – мінімальний рівень температури в приміщенні у відповідності до норм. При такій температурі $T_{мін}$ приміщення ще може використовуватися за призначенням. $T_{нс}$ – температура навколишнього середовища, мінімальна температура, до якої може знизитися температура в приміщенні. $t_{відкл}$ – час, коли було відключено теплопостачання. $t_{стійк}$ – час, за який температура знизиться до мінімально можливої, зниження якої не дозволить використовувати приміщення за призначенням. Такий час буде характеризувати стійкість приміщення (будівлі). Швидкість зменшення температури з $T_{ном}$ до $T_{мін}$ визначається кутом β . Іншими словами зменшення часу стійкості можна відобразити через величини кута β із прямою залежністю. Чим менший кут β , тим менший час стійкості приміщення.

На основі закону збереження енергії [9, 10] зміна внутрішньої енергії приміщення дорівнює сумі енергії підведеної до цього об'єму ззовні (джерело постачання теплової енергії, тепломережа) dQ_1 і енергії, яка виділяється в приміщенні за рахунок внутрішніх джерел теплоти dQ_2 .

$$dQ = dQ_1 + dQ_2.$$

Величина $dQ_2 = q_v dV dt$.

Де q_v – питома енергія внутрішніх джерел теплоти, яка виділяється в одиниці об'єму за одиницю

часу.

Знаходження dQ проводиться через елементарний об'єм зі сторонами dx, dy, dz :

$$dQ_1 = dQ_x + dQ_y + dQ_z.$$

Згідно закону Фур'є, енергія, що надходить до приміщення:

$$dQ'_x = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} dy dz dt.$$

Енергія, що виходить із приміщення:

$$dQ''_x = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} (t + \frac{\partial t}{\partial x}) dy dz dt,$$

λ – коефіцієнт теплопровідності.

В елементарному об'ємі залишається:

$$dQ'_x - dQ''_x = dQ_x = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dx dy dz dt.$$

Аналогічно для dQ_y і dQ_z .

Тоді

$$dQ_1 = \lambda \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) dV dt.$$

Зрозуміло, що коефіцієнт теплопровідності (а в нашому випадку, це коефіцієнт теплопровідності огорожувальних конструкцій) буде безпосередньо впливати на час енергетичної стійкості. Чим менша теплопровідність огорожувальних конструкцій тим більший час енергетичної стійкості.

З іншої сторони величина часу стійкості буде залежати від dQ_2 – теплового потоку від внутрішніх джерел. Для медичних закладів одним із основних джерел внутрішнього теплового потоку є тепло людини (пацієнти, медичний персонал є джерелом тепла).

Забезпечення рівня енергетичної стійкості під час перехідних режимів енергопостачання. Можна виділити цілу низку заходів по підтримці енергетичної стійкості. Такі заходи об'єднуються в два основні напрями (рис. 6): зменшення енергоспоживання з пониженням групи енергопостачання приміщень і зменшення енергоспоживання за рахунок відключення деяких приміщень від енергоспоживання, але із збереженням групи енергоспоживання [11, 12].



Рис. 6. Основні напрями заходів по забезпеченню рівня енергетичної стійкості

Зазначені напрями забезпечення рівня енергетичної стійкості мають свої недоліки і переваги. Так для досягнення межової енергетичності (найбільш довгою за часом) можна тільки за рахунок пониження групи енергопостачання приміщень із наступним відключенням приміщень від енергопостачання.

Для досягнення найдовшої відповідності якісним

показникам енергопостачання підходить тільки другий напрям. Відключення частини приміщень від системи енергопостачання із збереженням групи енергопостачання для тих що залишаться.

Висновки. Запропонований критерій енергетичної стійкості дозволяє оцінити будівлі на можливість продовження виконання в них певних функцій і технологічних процесів в періоди переривів енергопостачання.

Використовуючи критерій енергетичної стійкості можливо проаналізувати будівельні конструкції і технологічні процеси в самих будівлях із метою вироблення заходів по підвищенню енергетичної стійкості.

Авторами зазначено, що енергетичну стійкість можна оцінювати і за критеріями якості енергопостачання, що є дуже визначальним для закладів медицини.

Тому роботу по розробці критеріїв оцінки енергетичної стійкості і заходів її підвищення необхідно продовжити.

Список літератури

- Соколов С. Я. *Теплофікація і теплові мережі*. Энерговид., 1982. 360 с.
- Вороновський Г. К. *Удосконалення практики оперативного управління великими теплофікаційними системами в нових економічних умовах*. Харків: Вид-во «Харків», 2002. 240 с.
- Сафонов А. П. *Автоматизація систем централізованого теплопостачання*. Энергія, 1974. 272 с.
- Гриб О. Г., Сокол Е. И., Жаркин А. Ф., Васильченко В. И., Тесик Ю. Ф. *Качество электрической энергии. Том 2. Контроль качества электрической энергии*. Харьков: ПП «Граф-Ікс», 2014. 244 с.
- URL: https://voltline.ua/files/voltline/file/20_Tipovye_resheniya_obzor_oborudovaniya_ABB/Prekticheskoe_rukovodstvo_po_electrosnabzheniyu_med_ychereghdenij.pdf (дата звернення: 10.11.2023).
- Шур І. З. Проблеми сучасного електроспоживання. *Енергетика. Електротехніка. Електроніка*. 2006. № 1. С. 23–24.
- Онищенко В. А., Самойленко И. А., Гриб О. Г., Жаркин А. Ф., Васильченко В. И., Ушаповский К. В., Сендерович Г. А., Светелик А. Д., Кондратенко К. И., Довгалюк О. Н., Щербактова П. Г., Захаренко Н. С. *Анализ и оценка экономических ущербов от низкого качества электрической энергии*. Харьков: ПП «Граф-Ікс», 2013. 329 с.
- Гриб О. Г., Крапалюк І. Т., Швець С. В., Лука О. В., Кауркин Є. О. Якість електричної енергії як функція зв'язаного енергоспоживання міських енергомереж. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units*. Kharkiv: NTU "KhPI". 2022. No. 2. P. 60–65.
- Савельев І. В. *Курс загальної фізики. Т. I*. Світ, 1970. 511 с.
- Хаазе Р. Термодинаміка необоротних процесів. Світ, 1967. 544 с.
- Sokol Ye., Cherkashenko M. *Synthesis of control schemes for hydroficated automation objects*. Germany: GmbH & Co, 2018. 120 p.
- Sokol E. I., Senderovich G. A., Grib O. G., Zaporozhets A. O., Dyachenko O. V., Samoilenko I. O., Skopenko V. B., Karpaluk I. T., Shvets S. V., Cherkashenko M. V., Starenkiy V. P., Zakharenko N. S., Rudevich N. V., Tesik Yu. F., Pronzeleva Yu. S., Fursova H. V. *Автоматика протияварійного управління електроенергетичних систем*. Харків: ФОБ Бровін, 2020. 216 с.

References (transliterated)

- Sokolov Ye. Ya. *Teplofikatsiya i teplovi merezhi* [Heating and heating networks]. Enerhovydav Publ., 1982. 360 p.
- Voronovskiy G. K. *Udoskonalennya praktyky operatyvnoho upravlinnya velykymy teplofikatsiynymy systemamy v novykh ekonomichnykh umovakh* [Improving the practice of operational management of large heating systems in the new economic environment]. Kharkiv, Kharkiv Publ., 2002. 240 p.
- Safonov A. P. *Avtomatyzatsiya sistem tseentralizovanoho teplopostachannya* [Automation of district heating systems]. Enerhiya Publ., 1974. 272 p.
- Grib O. G., Sokol E. I., Zharkin A. F., Vasilchenko V. I., Tesik Yu. F. *Kachestvo elektricheskoy energii. Tom 2. Kontrol' kachestva elektricheskoy energii* [Quality of electrical energy. Vol. 2. Quality control of electrical energy]. Kharkov, PP "Graf-Iks" Publ., 2014. 244 p.
- Available at: https://voltline.ua/files/voltline/file/20_Tipovye_resheniya_obzor_oborudovaniya_ABB/Prekticheskoe_rukovodstvo_po_electrosnabzheniyu_med_ychereghdenij.pdf (accessed 10.11.2023).
- Shchur I. Z. Problemy suchasnoho elektrospozhyvannya [Problems of modern electricity consumption]. *Enerhetyka. Elektrotehnika. Elektronika*. 2006, no. 1, pp. 23–24.
- Onishchenko V. A., Samoilenko I. A., Grib O. G., Zharkin A. F., Vasilchenko V. I., Ushchapovskiy K. V., Senderovich G. A., Svetelik A. D., Kondratenko K. I., Dovgalyuk O. N., Shcherbakova P. G., Zakharenko N. S. *Analiz i otsenka ekonomicheskikh ushcherbov ot nizkogo kachestva elektricheskoy energii* [Analysis and assessment of economic damage from poor quality electricity]. Kharkov, PP "Graf-Iks" Publ., 2013. 329 p.
- Hryb O. H., Krapalyuk I. T., Shvets S. V., Luka O. V., Kaurkin Ye. O. *Yakist' elektrychnoyi enerhiyi yak funktsiya zvyazanoho enerhospozhyvannya mis'kykh enerhomerezh* [Relationship between coronal discharge and harmonious component and their influence on electricity quality indicators]. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units*. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2022, no. 2, pp. 60–65.
- Savel'yev I. V. *Kurs zahal'noyi fizyky. T. I* [General physics course. Vol. I]. Svit Publ., 1970. 511 p.
- Khaaze R. *Termodynamika neoborotnykh protsesiv* [Thermodynamics of irreversible processes]. Svit Publ., 1967. 544 p.
- Sokol Ye., Cherkashenko M. *Synthesis of control schemes for hydroficated automation objects*. Germany, GmbH & Co Publ., 2018. 120 p.
- Sokol Ye. I., Senderovych H. A., Hryb O. H., Zaporozhets A. O., Dyachenko O. V., Samoilenko I. O., Skopenko V. V., Karpalyuk I. T., Shvets S. V., Cherkashenko M. V., Staren'kyi V. P., Zakharenko N. S., Rudevych N. V., Tesyk Yu. F., Pronzeleva Yu. S., Fursova H. V. *Avtomatyka protyavariynoho upravlinnya elektroenerhetychnykh sistem* [Automation of emergency control of electric power systems]. Kharkiv, FOB Brovin Publ., 2020. 216 p.

Надійшла (received) 05.11.2023

Відомості про авторів / About the Authors

Гриб Олег Герасимович (Grib Oleg) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри «Автоматизація та кібербезпека енергосистем»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4758-8350>; e-mail: oleg47gryb@gmail.com

Карпалюк Ігор Тимофійович (Karpaliuk Igor) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри «Автоматизація та кібербезпека енергосистем»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5634-6807>; e-mail: humpway@gmail.com

Донецька Тетяна Сергіївна (Donetska Tetiana) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Автоматизація та кібербезпека енергосистем»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0925-1001>; e-mail: iierusalimovat@gmail.com

Десяр Ярослав Дмитрович (Dehtiar Yaroslav) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри «Автоматизація та кібербезпека енергосистем»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5367-2611>; e-mail: Yaroslav.Dehtiar@ieee.khpi.edu.ua

Пишний Олександр Володимирович (Pyshnyi Oleksandr) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри «Автоматизація та кібербезпека енергосистем»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8318-3912>; e-mail: pishniy.s@gmail.com