

Чорна В.О.

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Мельник О.Є.

Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ТА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЦИВІЛЬНОЇ БУДІВЛІ

У статті розглянуто питання підвищення показників енергетичної ефективності цивільної будівлі шляхом запровадження автоматизованої системи контролю та регулювання параметрів мереж опалення, вентиляції та освітлення. З посиланням на попередні дослідження констатовано факт належності досліджуваної будівлі до низького класу енергетичної ефективності (клас D) через незадовільний стан теплової мережі та огорожувальних конструкцій, що призводить до великих теплових втрат під час кожного опалювального сезону. Запропонована автоматизована система контролю та регулювання параметрів мережі опалення, вентиляції та освітлення. Наведений детальний опис принципів роботи розробленої системи контролю та регулювання параметрів мережі опалення, вентиляції та освітлення. Запропонована система відрізняється від існуючих тим, що дозволяє вимірювати витрати теплоносія, температуру теплоносія у прямому та зворотному трубопроводах, вимірювати температуру повітря в приміщеннях будівлі, регулювати витрату теплоносія в залежності від температурного графіка роботи системи опалення та графіка роботи будівлі. Крім того, автоматизована система контролю та регулювання параметрів мережі опалення, вентиляції та освітлення дозволяє управляти лампами освітлення в приміщеннях будівлі, управляти роботою системи вентиляції. В статті наведено алгоритм функціонування підсистеми контролю електропостачання, що враховує вимоги до підтримання комфортних умов для перебування людей в приміщеннях будівлі. В основу роботи підсистеми контролю електропостачання покладений принцип зменшення витрат електроенергії. Наведена методика оцінки впливу функцій автоматизації, моніторингу та управління будівлями на енергоефективність будівлі. Представлені результати розрахунків впливу стандартної системи автоматизації, моніторингу та управління на енергоспоживання будівлею. Показано, що при застосуванні системи автоматизованого моніторингу та управління стандартного класу (клас C) в досліджуваній будівлі рівень економії теплової енергії досягає 18%, електричної енергії – 14%.

Ключові слова: енергетична ефективність, теплопостачання, електропостачання, освітлення, моніторинг, управління, автоматизація.

Постановка проблеми. Останнім часом досить актуальним у всіх країнах світу є питання економії енергії. Численними теоретичними та практичними дослідженнями доведено, що проведення комплексного обстеження цивільних будівель та впровадження енергозберігаючих заходів дозволяє економити значну частину енергоресурсів [1, с. 363]. Не остання роль у вирішенні питань енергозбереження в цивільних спорудах належить системам автоматизації інженерної інфраструктури будівель. При впровадженні таких систем показники економії можуть сягати 20%, а в окремих випадках 30%, при цьому оптимізація споживання енергії не торкається показників комфорту в приміщенні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В [2] представлені результати досліджень класу енергетичної ефективності будівлі навчального закладу, які свідчать про високий рівень витрат енергії на опалення, охолодження, електрозабезпечення. В [3] наведена система керування освітленням в будівлі. В [4] описано структуру та принцип роботи системи опалення цивільної будівлі та спосіб регулювання її параметрів. В наведених джерелах відсутній комплексний підхід до вирішення питання енергоефективності інженерних систем будівлі.

Метою статті є розробка системи моніторингу та регулювання параметрів систем опалення та електропостачання для підвищення рівня

ефективності використання енергетичних ресурсів інженерними спорудами цивільної будівлі.

Виклад основного матеріалу. Згідно Національного стандарту України ДСТУ – Н Б В.2.5 – 37:2008 «Інженерне обладнання будинків і споруд» автоматизована система моніторингу та управління будівель і споруд (АСМУ) являє собою систему, побудовану на основі програмно-технічних засобів, призначення якої полягає в проведенні моніторингу технологічних процесів і процесів забезпечення функціонування обладнання об'єктів (будівель і споруд). Використання АСМУ дозволяє підвищити рівень ефективності споживання енергоресурсів при експлуатації житлових, соціально-побутових та інших об'єктів будівництва [5, с. 11].

До об'єктів автоматизації належать системи теплопостачання та опалення, системи вентиляції будівель, системи водопостачання та водовідведення, системи електропостачання, електричні мережі освітлення. В представленій роботі в якості об'єкта дослідження обрано п'ятиповерхову будівлю навчального корпусу закладу вищої освіти у м. Кременчук, для якої запропоновано розробку та впровадження автоматизованої системи моніторингу на управління опаленням, вентиляцією та освітленням.

Слід зазначити, що досліджувана будівля введена в експлуатацію більш, ніж 40 років тому, має централізовані системи тепло- та електропостачання, які до цього часу не підлягали модернізації. Стан тепломереж значно погіршився, їх експлуатація супроводжується значними втратами при транспортуванні теплоносія. Крім того, за час експлуатації погіршився стан огорожувальних конструкцій, що призвело до збільшення тепловтрат. В процесі проведення досліджень по аналізу показників енергетичної ефективності будівлі, результати якого наведені в [6, с. 28], встановлено, що будівля має низький клас енергетичної ефективності (клас «D») і потребує комплексного підходу для вирішення питання енергозаощадження.

Зважаючи на необхідність підвищення рівня ефективності використання енергетичних ресурсів інженерними спорудами досліджуваної будівлі, була розроблена автоматизована система, яка дозволяє контролювати та регулювати параметри мереж опалення, вентиляції та освітлення. Блок-схема системи наведена на рисунку 1 та включає в себе наступні складові: 1 – блок сенсорів, 2 – сенсори температури і витрат теплоносія, 3 – сенсори температури зовнішнього та внутрішнього повітря, 4 – інтелектуальний датчик,

5 – блок збору даних, 6 – персональний комп'ютер, 7 – температурний графік системи опалення, 8 – режим роботи будівлі, 9 – блок ідентифікації системи опалення будівлі, 10 – блок розрахунку відносних витрат теплоносія, 11 – блок розрахунку керуючих впливів, 12 – інтерфейс зв'язку, 13 – локальний контролер керування, 14 – виконавчі механізми теплового пункту будівлі, 15 – система опалення будівлі, 16 – лампи освітлення, 17 – система вентиляції.

Принцип роботи АСМУ полягає в наступному. Дані про теплові параметри системи опалення отримують з сенсорів 2 і 3, а саме значення температури теплоносія у прямому та зворотному трубопроводах, температури теплоносія в системі опалення будівлі, температури внутрішнього та зовнішнього повітря, теплових витрат та потужності будівлі, та надходять до блоку збору даних 5. Отримані дані через інтерфейс зв'язку 12 надходять у блок ідентифікації 9, де визначаються динамічні характеристики будівлі (постійні часу охолодження та нагрівання).

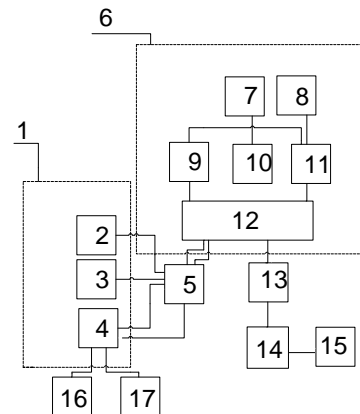


Рис. 1. Блок-схема автоматизованої системи моніторингу та регулювання параметрами мережі опалення та електропостачання

У блоці 8 задають режим роботи будівлі, який визначається призначенням та її графіком використання. Типовими режимами роботи навчальних корпусів є робочий з 7:30 до 18:00 годин у понеділок – п'ятницю та з 9:00 до 13:00 у суботу, й неробочий – з 18:00 до 7:30 у понеділок – п'ятницю, з 13:00 годин суботи до 7:30 наступного понеділка, вихідні та святкові дні.

Розрахунок відносних теплових витрат залежно від теплового навантаження будівлі, температурного графіка системи опалення, індивідуального для певної кліматичної області, та режиму роботи будівлі здійснюється у блоці 10. Так, для забезпечення необхідної температури внутрішнього повітря у робочому режимі відповідно до

поточних вимірних значень температури зовнішнього повітря, визначається необхідне зниження витрат теплоносія та через інтерфейс зв'язку 12, локальним контролером 13 формується керуючий вплив на клапан з електроприводом для відпрацювання розрахованого значення; при цьому момент початку відпрацювання розрахованих витрат вибирається з урахуванням часу нагрівання будівлі. Для забезпечення необхідної температури внутрішнього повітря у неробочих режимах (нічний час, вихідні та святкові дні) за час охолодження будівлі до кінця робочого режиму формується керуючий вплив на закриття клапану з електроприводом; при цьому, за рахунок роботи насосу у вузлі змішування теплоносія, залишкової тепловіддачі опалювальних приладів та акумуляції теплоти огорожувальними конструкціями температура внутрішнього повітря залишається в допустимих межах.

Локальний контролер 13 забезпечує формування керуючих впливів безпосередньо на виконавчі механізми системи. В якості таких контролерів можуть бути використані електричні погодні регулятори типу Danfoss ECL, Siemens RVD з вбудованими промисловими інтерфейсами зв'язку.

Виконавчі механізми 14 теплового пункту включають: клапан з електроприводом, що встановлюють у зворотному трубопроводі до вузла змішування теплоносія; насос з електроприводом, що встановлюють у зворотному трубопроводі після вузла змішування теплоносія або замість елеваторного вузла змішування. В якості клапану з електроприводом можуть бути використані, наприклад, дво- чи триходові клапани Danfoss VRB або Siemens VVF; насоси – Vilo чи DAB з сухим або вологим ротором та східчастим регулюванням їх частоти обертання.

Стан приміщення оцінюється у блоці 5, на який поступає сигнал з персонального комп'ютера 6. Після цього на інтелектуальний датчик 4 надходить сигнал від блоку збору даних 5, який, в свою чергу, надсилає відповідь на запит про стан приміщення на персональний комп'ютер 6. Персональний комп'ютер 6, отримавши дані від блоку збору даних 5 та обробивши їх, відправляє запит (команду) до інтелектуального датчика 4, який в свою чергу залежно від отриманої команди має ввімкнути (або вимкнути) лампи освітлення 16 чи систему вентиляції 17.

В данній системі рекомендується використовувати електрولیчильник однофазний електронний, наприклад NiK 2102-01.E2T, мікроконтролер якого містить годинник реального часу, стабілізовані

кварцовим резонатором, які відраховують роки, місяці, дні тижня, години, хвилини і секунди. Дані годин використовуються для виконання програми тарифів, формування періодів інтеграції середньої потужності і реєстрації подій з годинною міткою. Є функція переходу на зимовий і літній час.

В основу роботи системи контролю електропостачання цивільної будівлі покладений принцип підтримання комфортних умов роботи в приміщенні та зменшення витрат електроенергії за допомогою інтелектуального датчика, лічильника, та персонального комп'ютера. Функціонування системи відповідно до заданих вихідних параметрів здійснюється згідно алгоритму, наведеного на рисунку 2. На рисунку введені наступні позначення: Д1 – датчик, Д1=0 – датчик вимкнений, Д1=1 – датчик ввімкнений, Д1=2 – людина присутня, Д1=3 – температура більша або дорівнює 24°C, ТС=1 – сигнал від датчика руху, ТС=2 – сигнал від датчика вентиляції, ПК – персональний комп'ютер, МК – мікроконтролер, Л1 – лампа освітлення, Л1=0 – лампа освітлення вимкнена, Л1=1 – лампа освітлення ввімкнена, В1 – система вентиляції, В1=0 – система вентиляції вимкнена, В1=1 – система вентиляції ввімкнена, С1 – лічильник електричної енергії, С1=0 – лічильник вимкнений, С1=1 – лічильник ввімкнений.

Оцінка впливу функцій автоматизації, моніторингу та управління будівлями (АМУБ) на енергоефективність будівлі проводяться згідно [7, с. 26]. Існують наступні методи оцінки: метод детального розрахунку та з застосуванням коефіцієнта ефективності АМУБ. Перший метод застосовується за наявності достатньої інформації стосовно функцій автоматизації, моніторингу та управління, що використовуються для будівель та енергетичних систем. За відсутності детальної інформації про функції системи застосовують метод врахування коефіцієнта ефективності АМУБ, який дає приблизну оцінку впливу АМУБ залежно від класів ефективності системи (А, В, С, D). З урахуванням обмеженого обсягу даних для подальших розрахунків обрано останній з аведених вище методів.

Споживана інженерними системами будівлі енергія являє собою енергопотребу будівлі, загальні теплові втрати системи та додаткову енергію, що необхідна для роботи систем. Кожна з функціонуючих в будівлі систем має бути оцінена за відповідним коефіцієнтом АМУБ. Спочатку необхідно визначити один із класів ефективності АМУБ як базовий [7, с. 54]. Як правило, ним є клас С, який відповідає стандартній

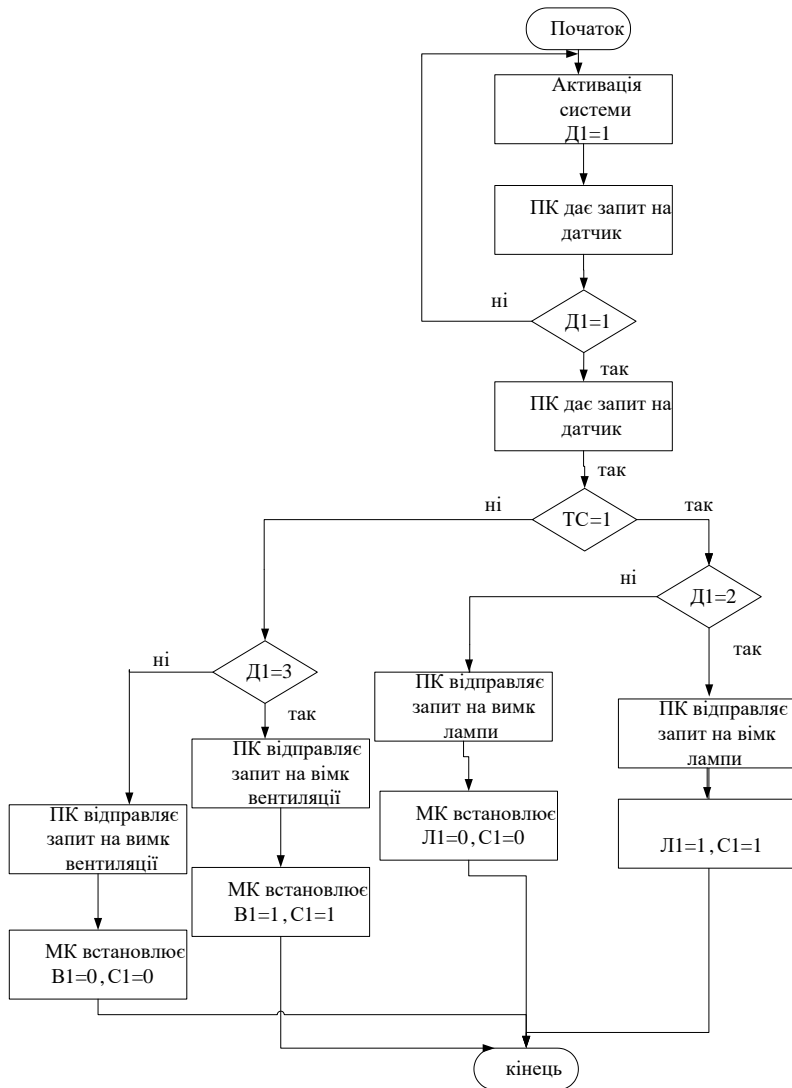


Рис. 2. Алгоритм контролю електропостачання цивільної будівлі

автоматизованій системі управління та моніторингу будівлі.

Фактори ефективності АМУБ використовуються в наступних розрахунках споживчої енергії для систем.

Система опалення:

$$Q_{H,Tot,BAC} = (Q_{H,nd,B} + Q_{H,sys}) \cdot \frac{f_{BAC,HC}}{f_{BAC,HC,ref}}; \quad (1)$$

$$W_{H,aux,BAC} = W_{H,aux} \cdot \frac{f_{BAC,el}}{f_{BAC,el,ref}}. \quad (2)$$

Система вентиляції:

$$W_{V,aux,BAC} = W_{V,aux} \cdot \frac{f_{BAC,el}}{f_{BAC,el,ref}}. \quad (3)$$

Система освітлення:

$$W_{L,BAC} = W_L \cdot \frac{f_{BAC,el}}{f_{BAC,el,ref}}. \quad (4)$$

Розрахунок енерговитрат системи опалення виконують на основі щомісячних показників, які

залежать від визначеного періоду наступним чином:

$$Q_{em,is} = \left(\frac{f_{hydr} \cdot f_{in} \cdot f_{rad}}{\eta_{em}} \right) \cdot Q_H \quad (5)$$

де $Q_{em,is}$ – регулярні тепловтрати тепловіддавальної складової системи, кВт·год; Q_H – корисна теплова енергія, кВт·год; f_{hydr} – коефіцієнт, що враховує гідравлічне балансування системи; f_{in} – коефіцієнт, що враховує змінний тепловий режим приміщення; f_{rad} – коефіцієнт, що враховує променеву складову теплового потоку; η_{em} – коефіцієнт, що враховує загальний рівень ефективності тепловіддавальної складової системи у приміщенні.

Коефіцієнт загального рівня ефективності η_{em} розраховують згідно виразу:

$$\eta_{em} = \frac{1}{(4 - (\eta_{str} + \eta_{ctr} + \eta_{emb}))} \quad (6)$$

де η_{str} – коефіцієнт, що є складовою загального рівня ефективності, яка враховує вертикальний профіль температури повітря приміщення; η_{ctr} – коефіцієнт, що є складовою загального рівня ефективності, яка враховує регулювання температури приміщення; η_{emb} – коефіцієнт, що є складовою загального рівня ефективності, яка враховує питомі втрати зовнішніх огорож.

Для кожного електричного пристрою тепловіддавальної складової системи слід визначити наступні дані: електрична потужність, тривалість роботи; частину електричної енергії, перетворену в теплоту та віддану в опалюваний об'єм.

Додаткову енергію розраховують за наступною формулою:

$$W_{em,aux} = W_{ctr}, \quad (7)$$

де $W_{em,aux}$ – додаткова енергія, кВт·год; W_{ctr} – додаткова енергія для регульовального обладнання, кВт·год.

Вираз для додаткової енергії для регульовального обладнання:

$$W_{ctr} = P_{ctr} \cdot d \cdot 24 / 1000, \quad (8)$$

де P_{ctr} – електрична номінальна споживана потужність регульовального обладнання з додатковою енергією, Вт; d – кількість днів у періоді.

Річний обсяг енергоспоживання системою освітлення W (кВт·год), розраховується згідно виразу:

$$W = W_L + W_p, \quad (9)$$

де W_L – енергія, необхідна для виконання функції штучного освітлення в будівлі, кВт·год; W_p – паразитна енергія, що необхідна для забезпечення заряду акумуляторів світильників аварійного освітлення та енергія для управління (регулювання) освітленням в будівлі, кВт·год.

Значення W_L розраховують згідно виразу:

$$W_L = (P_N \cdot F_c) \cdot ((t_D \cdot F_o \cdot F_D) + (t_N \cdot F_o)) \cdot A_f / 1000, \quad (10)$$

де P_N – питома потужність встановленого штучного освітлення в будівлі, Вт/м²; F_c – постійний коефіцієнт яскравості, що відноситься до використання навантаження встановленого освітлення при функціонуєчому контролі сталої освітленості зони; F_o – коефіцієнт використання освітлення, є відношенням використання загальної встановленої потужності штучного освітлення до наявного природного освітлення зони; F_D – коефіцієнт природного освітлення, є відношенням використання загальної встановленої потужності штучного освітлення до наявного природного освітлення зони; t_D – час використання природного освітлення протягом року, год; t_N – час використання штучного освітлення протягом року, год; A_f – кондиціонувана площа будівлі, м².

Для визначення W_p використовується вираз:

$$W_p = (P_{em} + P_{pc}) A_f, \quad (11)$$

де P_{em} – загальна встановлена питома потужність заряду акумуляторів світильників аварійного освітлення, кВт·год/м²; P_{pc} – загальна встановлена питома потужність усіх систем управління приладами освітлення зони в час, коли лампи не використовують, кВт·год/м²; A_f – кондиціонувана площа будівлі, м².

Провівши розрахунки щодо оцінки впливу функцій АМУБ на енергоефективність будівлі з використанням вищенаведеної методики, було встановлено, що в результаті впровадження автоматизованої системи моніторингу та управління інженерними системами будівлі, яка (система) належить до класу енергоефективності С (стандартна система) можна досягти економії теплової енергії до 18%, електричної енергії на рівні 14%. Для визначення величини економії енергії в першу чергу було розраховано обсяги енергоспоживання системами опалення та освітлення згідно технічних параметрів систем та з урахуванням режимів їх роботи протягом року. Для системи опалення ця величина становить 280,8 тис.кВт·год, для системи освітлення – 139,78 тис.кВт·год.

Якщо автоматизована система відноситься до класу енергоефективності В, тобто вище за клас С,

то вона повинна виконуватися функція автоматизації будівлі, а також деякі спеціальні функції, контролери приміщень повинні взаємодіяти з системою автоматизації будівлі.

При застосуванні системи класу А в ній повинні бути реалізовані функції класу В, функція технічного управління будівлею, а також деякі спеціальні функції. Відмінною рисою таких систем є врахування багатьох факторів. Наприклад, ступінь регулювання залежить від рівня заповнення приміщення, якості повітря, рівня освітленості, температури повітря в приміщенні тощо. Крім того, систем класу А включають додаткові інтегровані функції упорядкування взаємозв'язків між опаленням, вентиляцією, кондиціонуванням повітря та іншими функціями обслуговування (наприклад, електропостачання, освітлення, затемнення від сонця тощо).

Системи класу А є найбільш енергоефективними та дозволяють отримати найбільшу економію енергетичних ресурсів. Але їх вартість є основною з причин обмеженого використання в цивільних спорудах.

Співставляючи рівень бажаного ефекту від впровадження автоматизованих систем моніторингу та управління інженерними системами будівлі та рівень фінансових витрат, для досліджуваної будівлі пріоритетним варіантом системи була обрана система з класом енергетичної ефективності С з перспективою вдосконалення (модернізації) до класу В.

Висновки. В результаті аналізу існуючих систем та способів досягнення високих показників енергетичної ефективності будівель були виявлені недоліки існуючих технічних рішень та з урахуванням цього запропонована автоматизована система моніторингу та регулювання параметрами мережі опалення, вентиляції та освітлення. Наведений принцип роботи запропонованої системи та окремо описаний алгоритм функціонування підсистеми контролю електропостачання, що враховують вимоги до підтримання комфортних умов перебування людей в приміщеннях. Виконана оцінка впливу функцій АМУБ на енергоефективність будівлі. Показано, що при застосуванні системи автоматизованого моніторингу та управління стандартного класу в досліджуваній будівлі рівень економії теплової енергії досягає 18%, електричної енергії – 14%. При застосування системи класу А рівень економії може бути вищим, але й витрати на її встановлення, обслуговування та забезпечення ефективної роботи значно вищі.

Список літератури:

1. Чорна В.О., Савенко О.С. Про актуальність та доцільність впровадження енергозберігаючих заходів у житлових. *Сучасні аспекти модернізації науки: стан, проблеми, тенденції розвитку*: матеріали XXV Міжнар. наук.-практ. конф., м. Рига, 07 жовтня 2022. / ГО «ВАДН», 2022. С. 363–366.
2. Chorna V., Matveeva A. The education casing building survey for the energy efficiency class definition. *Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації*: матеріали XVI Міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених і спеціалістів, м. Кременчук, 12–13 квіт. 2018 р. / Кременчуц. нац. ун-т ім. М. Остроградського, 2018. С. 117–118.
3. Система керування освітленням: патент 5827 Україна : H05B 39/04. № u 20040907307 ; заявл. 06.09.2004 ; опубл. 15.03.2005, Бюл. № 3. 4 с.
4. Спосіб регулювання параметрів системи опалення цивільної будівлі : патент 85322 Україна : F24D 3/00. № u 201308137; заявл. 27.06.2013 ; опубл. 11.11.2013, Бюл. № 21. 4 с.
5. ДСТУ-Н Б В.2.5-37:2008 Інженерне обладнання будинків і споруд. Настанова з проектування, монтажування та експлуатації автоматизованих систем моніторингу та управління будівлями і спорудами. Чинний від 01.10.2008. Київ: Мінрегіонбуд України, 2008. 14 с.
6. Науково-дослідна робота «Оптимізація енергоспоживання навчального закладу за рахунок проведення робіт з енергетичного обстеження». № НДР 0117U000075, 2017. 38 с.
7. ДСТУ Б EN 15232 (EN 15232:2007, IDT) Енергоефективність будівель вплив автоматизації, моніторингу та управління будівлями. чинний від 01.04.2012. Київ: Мінрегіон України, 2012 р. 109 с.

Chorna V.O., Melnik O.Ye. DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR ADJUSTING THE PARAMETERS OF BODY SUPPLY AND ELECTRICAL SUPPLY OF A CIVIL BUILDING

The article deals with the issue of increasing the energy efficiency indicators of a civil building by introducing an automated system of control and regulation of parameters of heating, ventilation and lighting networks. With reference to previous studies, it was established that the investigated building belongs to a low class of energy efficiency (class D) due to the unsatisfactory state of the heat network and enclosing structures, which leads to large heat losses during each heating season. An automated system of control and regulation of heating, ventilation and lighting network parameters is proposed. A detailed description of the operating principles of the developed system of control and regulation of heating, ventilation and lighting network parameters is given. The proposed system differs from the existing ones in that it allows you to measure the coolant consumption, the temperature of the coolant in the direct and return pipelines, measure the air temperature in the premises of the building, and regulate the coolant flow depending on the temperature schedule of the heating system and the schedule of the building. In addition, the automated system of control and regulation of parameters of the heating, ventilation and lighting networks allows you to control lighting lamps in the premises of the building, control the operation of the ventilation system. The article provides an algorithm for the operation of the power supply control subsystem, which takes into account the requirements for maintaining comfortable conditions for the stay of people in the premises of the building. The basis of the electricity supply control subsystem is the principle of reducing electricity consumption. The methodology for assessing the impact of automation, monitoring and building management functions on the building's energy efficiency is given. The results of the calculations of the impact of the standard automation, monitoring and management system on the energy consumption of the building are presented. It is shown that when using the automated monitoring and control system of the standard class (class C) in the investigated building, the level of thermal energy saving reaches 18%, electrical energy – 14%.

Key words: energy efficiency, heat supply, power supply, lighting, monitoring, management, automation.