

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧЕ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНОЮ УСТАНОВКОЮ

*Проведено аналіз сучасних технологій в галузі систем освітлення офісних будівель.
Запропоновано систему керування освітленням офісу із застосуванням*

© О. Ф. Соколовський, Л. М. Соколовська

мікропроцесорного пристрою. Ідея полягає в створенні умов, які спонукають працівників офісу до ефективного використання природного освітлення. У випадку недостатнього рівня освітлення через затемнення вікон система не дозволяє увімкнути достатню кількість світильників, що змушує співробітників відкрити жалюзі. При використанні добового ліміту електроенергії система переходить в ощадливий режим функціонування. Добовий ліміт визначається тривалістю темного часу доби на інтервалі робочого дня та хмарністю відповідно до прогнозу погоди. Періодичне вимикання світла в неробочий час здійснюється із врахуванням пріоритетності приміщень. Для підвищення енергоефективності мережі пропонується встановлення сонячних панелей, які часткового покриватимуть попит на електричну енергію.

Ключові слова: енергозберігаюче керування, фотоелектрична система, FBD-діаграма, астрономічний календар, прогноз погоди.

Постановка проблеми

Сучасний етап економічного розвитку суспільства вимагає впровадження систем керування технологічними установками, які повинні забезпечувати не лише необхідні технологічні параметри, надійність та енергоефективність, а також формувати енерго- і ресурсоощадливу поведінку споживачів та проводити моніторинг споживання ресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

За даними Держенергонагляду щодо галузевого електроспоживання витрати електроенергії на освітлення в цілому по Україні становлять 15 млрд кВт·год (10 % усього споживання) [1]. У той же час, за оцінками європейських експертів, адміністративні будівлі споживають 60 % електроенергії, яка витрачається в країнах Євросоюзу [2]. Тобто, у даній сфері закладений величезний потенціал економії, в тому числі за рахунок зниження витрат на освітлення. Зокрема, світлодіодне освітлення в комплексі з мікропроцесорними системами керування дозволяє економити до 65 % електроенергії [3]. Сучасні системи керування освітленням з датчиками освітленості, руху і присутності дозволяють вмикати і вимикати світло, змінювати яскравість у залежності від присутності людини у приміщенні, від рівня природного освітлення або від часу доби [4, 5]. Вартість таких рішень зазвичай становить до 10 % вартості системи освітлення. Останнім часом все більшого розмаху набирає використання фотоелектричних систем. Однією з областей застосування таких установок є електропостачання будинків, офісів та інших будівель [6]. У більшості випадків сонячні батареї працюють паралельно з мережею і генерують екологічно чисту електрику для мереж централізованого електропостачання.

Мета, завдання та методика досліджень

Наразі на ринку існує достатньо автоматизованих систем, метою яких є управління енергоспоживанням та розробка прогнозних моделей витрат

електрики. Зазвичай, розроблені системи орієнтовані на промислові підприємства з енергоємним обладнанням. При цьому майже не враховується вплив штучного освітлення на загальні витрати електроенергії. Тому постає завдання розробки заходів щодо зменшення витрат на штучне освітлення. Метою роботи є впровадження енергозберігаючого алгоритму керування системою освітлення офісної будівлі. Об'єктом дослідження є процес керування освітлювальною установкою. Дослідження побудовано на базі математичного моделювання, положень теорії автоматичного керування з використанням методики програмування мікропроцесорних пристроїв та з врахуванням психології управління персоналом.

Результати досліджень

Відомо, що під час робочого дня рівень освітленості у приміщеннях за рахунок природного освітлення залежить від часу доби, погодних умов, пори року, чистоти вікон, коефіцієнта світлопропускання гардин, положення жалюзі на вікнах тощо. Недостатня освітленість всередині приміщень спонукає персонал вмикати загальне освітлення, яке нерідко може залишатись увімкненим навіть у разі відсутності потреби. І навпаки, в літній період інтенсивне сонячне випромінювання змушує співробітників офісу закривати жалюзі, вмикати при цьому штучне освітлення на тривалий час. Також на практиці часто зустрічаються випадки увімкненого світла у приміщеннях, в яких персонал відсутній.

Для реалізації енергозберігаючої системи керування освітленням пропонуються наступні рішення:

- централізоване керування системою від програмованого логічного контролера;
- застосування в якості пристроїв комутації імпульсних вимикачів, що дозволить здійснювати централізоване керування освітленням автоматично та в ручному режимі;
- встановлення датчиків освітленості, датчиків присутності в робочих приміщеннях, датчиків положення жалюзі;
- періодичне вимикання світла в автоматичному режимі в неробочий час;
- застосування системи сонячного електропостачання з автономними інверторами типу off-grid для часткового покриття потреб на освітлення;
- впровадження світлодіодного освітлення офісу. Для зменшення вартості реконструкції системи пропонується заміна люмінесцентних ламп на світлодіодні із збереженням встановлених світильників;
- зональне керування освітленням з метою створення необхідної освітленості в окремих частинах приміщень;

- запровадження добової норми витрат електроенергії з врахуванням тривалості робочого дня, тривалості сутінок відповідно до астрономічних даних, хмарності відповідно до прогнозу погоди.

Величина електроенергії, яку споживає запропонована система за добу:

$$W_{\Pi}(P_H, P_C, T, t_T, k_{XC}, A_{X\Pi}, t_C) = W_Y(P_H, T, t_T, k_{XC}, A_{X\Pi}) + W_{C\Pi}(P_C, t_C),$$

де W_Y – споживання енергії від мережі централізованого електропостачання; $W_{C\Pi}$ – електроенергія, спожита від фотоелектричної системи; P_H – встановлена потужність освітлювальної установки; P_C – встановлена потужність сонячних панелей; T – тривалість робочого дня; t_T – тривалість сутінок на проміжку робочого дня; k_{XC} – сезонний коефіцієнт хмарності; $A_{X\Pi}$ – величина хмарності відповідно до прогнозу погоди; t_C – час використання сонячної енергії на добу.

Сумарне прогнозоване споживання електроенергії за добу:

$$W_{\Sigma} = W_{Ti} + W_{XMi},$$

де W_{Ti} – електроенергія, спожита протягом темного часу доби; W_{XMi} – електроенергія, спожита внаслідок хмарності.

$$W_{Ti} = P_H \cdot t_{Ti},$$

$$W_{XMi} = P_H \cdot k_{XC} \cdot T \cdot N \cdot \frac{A_{X\Pi i}}{\sum_{i=1}^N A_{X\Pi i}},$$

де N – кількість робочих днів протягом місяця.

Рекомендується прийняти $k_{XC} = 0,3$ для зимових місяців, $k_{XC} = 0,2$ – для весни та осені, $k_{XC} = 0,1$ – для літа. З метою врахування витрат електроенергії у сонячний день через затемнення вікон приймемо для зими $A_{X\Pi} = 0$, для весни та осені $A_{X\Pi} = 0,5$, для літа $A_{X\Pi} = 1$. Визначення хмарності здійснюється відповідно до прогнозу на погодних сайтах [7,8] за чотирибальною шкалою.

Величина електроенергії, яку може виробити сонячна система електропостачання за добу:

$$W_{CD} = \frac{Z \cdot k_C \cdot P_{CH} \cdot E_D}{H},$$

де Z – кількість сонячних панелей; k_C – сезонний коефіцієнт (для літа $k_C = 0,5$, для зими $k_C = 0,7$); P_{CH} – потужність однієї панелі; E_D – середньодобове значення сонячної інсоляції (таблиця 1); H – інтенсивність сонячної випромінювання за якого виконують тестування сонячних панелей.

Ємність акумуляторний батарей:

$$C = \frac{P_H \cdot \alpha \cdot k_3 \cdot t_C}{U_C},$$

де α – загальна кількість світильників, включених одночасно, виражена у відносних одиницях; k_3 – коефіцієнт запасу, який враховує втрати потужності в інверторі; U_C – номінальна напруга сонячних панелей.

Таблиця 1. Показники сонячної радіації за місяцями

Населений пункт	Значення сонячної радіації, кВт·год/м²/доба											
	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень
Київ	1,07	1,87	2,95	3,96	5,25	5,22	5,25	4,67	3,12	1,94	1,02	0,86
Житомир	1,01	1,82	2,87	3,88	5,16	5,19	5,04	4,66	3,06	1,87	1,04	0,83
Одеса	1,25	2,10	3,07	4,38	5,65	5,85	6,03	5,34	3,93	2,52	1,36	1,04
Ялта	1,27	2,06	3,05	4,30	5,44	5,84	6,20	5,34	4,07	2,67	1,55	1,07

Алгоритм роботи контролера для забезпечення енергозберігаючого керування освітлювальною установкою наведено на рисунку 1. На початку циклу контролер визначає добову норму споживання електроенергії та, відповідно до типу дня і часу доби, виконує дії за коротким чи розгалуженим алгоритмом.

На проміжку часу неробочого часу (18:00–09:00) контролер виконує періодичне вимикання світла через кожні дві години. Цю саму процедуру контролер виконує у вихідні дні. На інтервалі 09:00–18:00 у робочий день відповідно до сигналів датчиків присутності, освітленості та положення жалюзі із врахування добового залишку електроенергії забезпечується живлення системи освітлення або від мережі централізованого електропостачання або від акумуляторних батарей фотоелектричної системи.

Так, за недостатньої освітленості, контролер визначає положення жалюзі. Якщо вони закриті, то для збільшення рівня освітленості використовується

сонячна енергія. У разі низького рівня зарядження акумуляторних батарей (до 50 %) живлення будуть отримувати лише 25 % світильників, у випадку достатнього рівня (50...100 %) – 50 % світильників. Недостатня освітленість буде спонукати персонал до використання природного освітлення та змушувати відкрити жалюзі.

У випадку, якщо рівень освітленості недостатній і жалюзі відкриті, добова норма електроенергії не вичерпана, то живлення здійснюється від централізованого електропостачання. Якщо добовий ліміт використано – світильники отримують живлення за ощадним алгоритмом. У цьому випадку використовується енергія, накопичена в акумуляторних батареях.

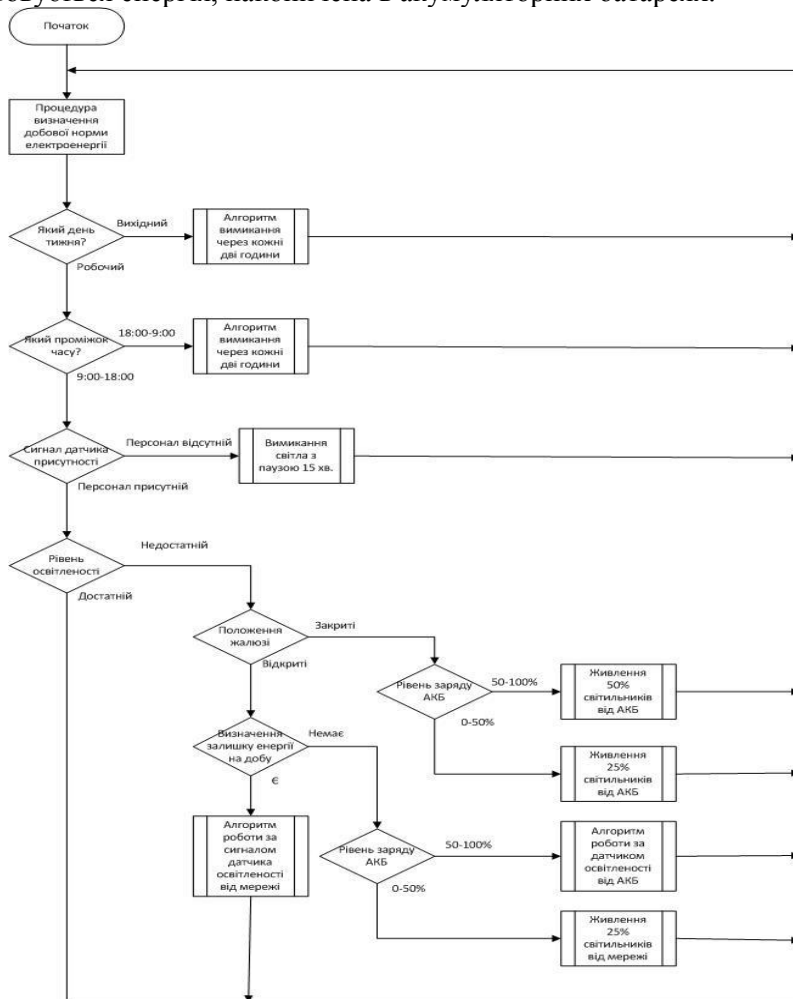


Рис. 1. Алгоритм роботи контролера

Важливо враховувати особливості впливу даного способу керування на психологію поведінки персоналу, його реакцію на обмеження світлового потоку. При натисканні на вимикач працівник очікує на отримання необхідного рівня освітлення. У випадку відсутності уваги співробітників щодо положення жалюзі система зменшує пропозицію. Персонал змушений реагувати на зміну обставин. Так як система не дозволяє увімкнути більше освітлювальних приладів, то співробітникам залишається тільки відкрити жалюзі та забезпечити необхідний рівень освітлення за рахунок надходження ззовні.

Фрагмент FBD-діаграми контролера [9, 10], розробленої на основі стандарту ІЕС-61131, наведено на рисунку 2. Програма забезпечує періодичне вимикання світла в неробочий час з врахуванням пріоритетності приміщень. Комутація мережі освітлення здійснюється формуванням коротких імпульсів на виході контролера.

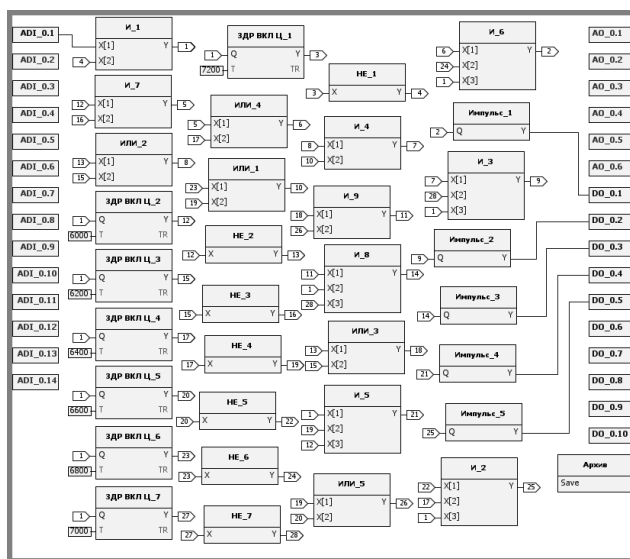


Рис. 2. Фрагмент FBD-діаграми контролера

Результати досліджень розробленої системи наведено на рисунках 3,4. На горизонтальній осі відкладено номери робочих днів січня 2017 року. Так, за даними астрономічного календаря, 6 січня 2017 року в Києві тривалість дня становила 8 годин 13 хвилин [11]. На проміжку 09:00–18:00 сутінки тривали протягом 49 хв. Відповідно до прогнозу погоди величина хмарності $A_{хп} = 2$. Добова норма витрат електроенергії, за встановленої потужності $P_H = 2,3 \text{ кВт}$ для розглянутої дати, складала $W_{y6} = 10,1 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ при місячній нормі $188,64 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ та середньому споживанні на добу

$W_d = 8,6 \text{ кВт} \cdot \text{год}$. Споживання електроенергії 6 січня через хмарність перевищила витрати в темний час доби в 3,8 раза. У разі перевищення добової норми система перейде в ощадний режим функціонування.

Максимальна прогнозована величина електроенергії, спожита в темний час доби відповідає першому робочому дню січня. Найбільший дисбаланс із процентним співвідношенням 6/94 між витратами в темний час доби ($t_T = 18 \text{ хв}$) та внаслідок хмарності ($A_{\text{хл}} = 3$) спостерігався 27 січня. Діапазон відхилень спожитої електроенергії коливався в межах від +65,85 % до -82,2 % відносно добової норми з найбільшим споживанням у середу 4 січня та найменшим у вівторок 31 січня. Графіки побудовані з врахуванням витрат на освітлення допоміжних приміщень, які додатково складають 5 % до встановленої потужності робочих приміщень.

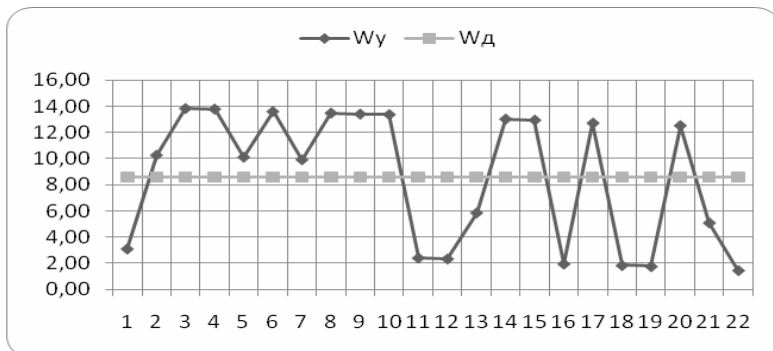


Рис. 3. Прогнозоване споживання енергії освітлювальною установкою

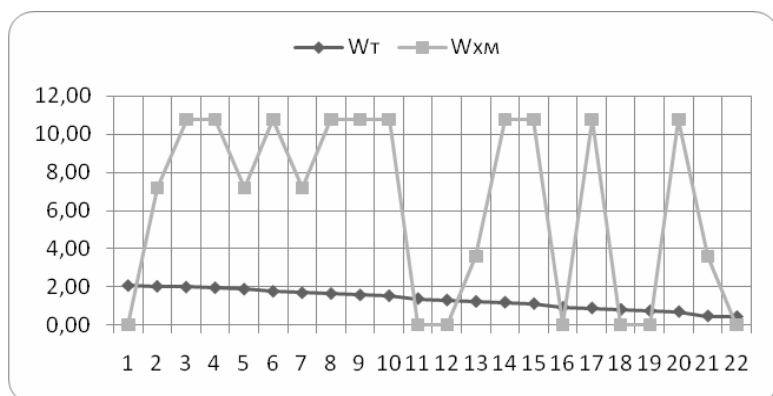


Рис. 4. Прогнозоване споживання за окремими показниками

Висновки та перспективи подальших досліджень

Енергозберігаючі властивості мережі забезпечуються:

- у нормальному режимі за рахунок використання датчиків присутності, освітленості та періодичного вимикання світла в неробочий час;
- в екстремальному режимі (у разі затемнення вікон) за рахунок зниження рівня штучного освітлення та спонукання персоналу до використання природного освітлення;
- в ощадному режимі (у випадку вичерпання добової норми) за рахунок вмикання спеціального алгоритму;
- використанням фотоелектричної системи.

Необхідно відмітити, що у процесі розвитку взаємовідносин системи та споживача відпрацьовується певна модель поведінки останнього. Адже, консеквентні нагадування системи про необхідність зменшення споживання при можливості в будь-яку мить отримати бажане, привчають персонал до раціонального використання електроенергії, що, в свою чергу, може дати ще більший економічний ефект у порівнянні з очікуваним.

Подальші дослідження рекомендується направити на вдосконалення енергозберігаючого алгоритму, який у випадку живлення мережі від фотоелектричної системи має враховувати пріоритетність приміщень та орієнтацію вікон відносно сторін світу.

Література

1. Про дисципліну споживання електричної енергії регіонами України [Електронний ресурс] / Держ. інспекція енергетичного нагляду України. – Режим доступу: <https://den.energy.gov.ua/main-active/rezhimi-spozhivannya-elektrichnoji-energiji>.
2. Освещение офиса. Снижение энергопотребления [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://svitlotek.com/ru/blog/office-lighting-to-reduce-energy-consumption-ru/>.
3. Монастирський З. Я. Нерівноцінна заміна або техніка і економіка світлодіодного освітлення / З. Я. Монастирський // Svitlotek Community. – 2016. – № 1. – С. 27–31.
4. Каталог энергоэффективных решений / Шнейдер Электрик. – Киев, 2015. – 127 с.
5. Каталог решений по защите и контролю нагрузок / Шнейдер Электрик. – Киев, – 2016. – 73 с.
6. Альтернативні джерела енергії України : навч. посіб. / І. О. Ковальов, О. В. Ратушний. – Суми : Вид-во СумДУ, 2015. – 201 с.
7. Погода на місяць [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.gismeteo.ua/ua/>.

8. Погода на місяць [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://meteo.ua/ua>.

9. Ковальчук О. В. Логічний синтез дискретних схем автоматики : [навч. посіб.] / О. В. Ковальчук – К. : НТУУ "КПІ", 2008. – 168 с.

10. Свободно программируемый контроллер МахуCon Flexy / Raut automatic. – Киев, – 2014. – 45 с.

11. Сонячний календар у Києві на січень 2017 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ua.365.wiki/world/ukraine/kyiv/sun/calendar/january/>.
