

Рисунок 4 – Фінансовий аналіз проекту

Були запропоновані такі ЗЕЗ, як: заміна вікон, утеплення зовнішніх стін, теплоізоляція трубопроводів системи опалення та заміна електричного обладнання на більш нове та енергоефективне. Загальний термін окупності запропонованих ЗЕЗ становить приблизно 9,3 років (не враховуючи ставку інфляції), що є привабливим для інвесторів. Економія при сплаті за спожиті енергетичні ресурси становитиме близько 42 тис. євро.

DesignBuilder дозволяє швидко порівнювати функції та продуктивність будівельних конструкцій і отримувати результати в термін і в рамках конкретного бюджету[6, 8]. У програмному середовищі DesignBuilder було створено фактичну (actual), базову (baseline) та запроповану (proposed) модель конфігурацію системи ОВК (Рис. 5 – 7) з реальними характеристиками її інженерних систем, огорожувальних конструкцій та умов експлуатації (недотримання нормативних температур, відсутня механічна вентиляція)

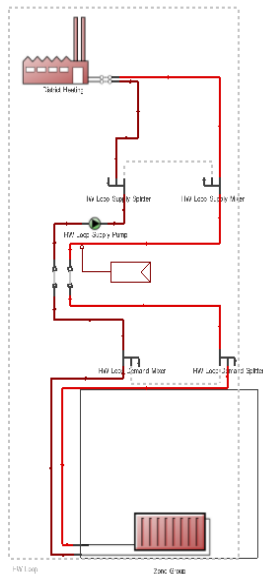


Рисунок 5 – Система опалення фактичної моделі

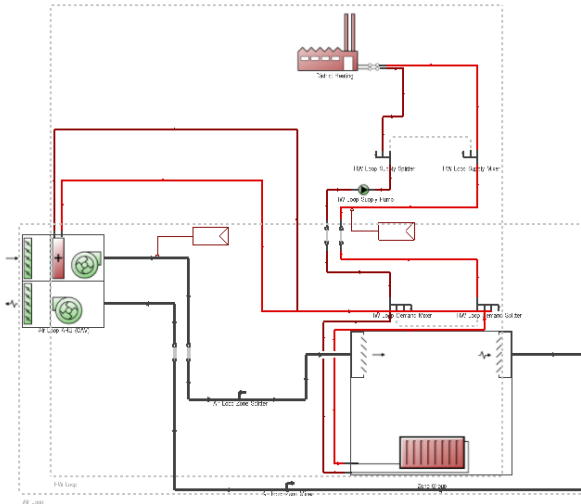


Рисунок 6 – Система опалення базової (baseline) моделі

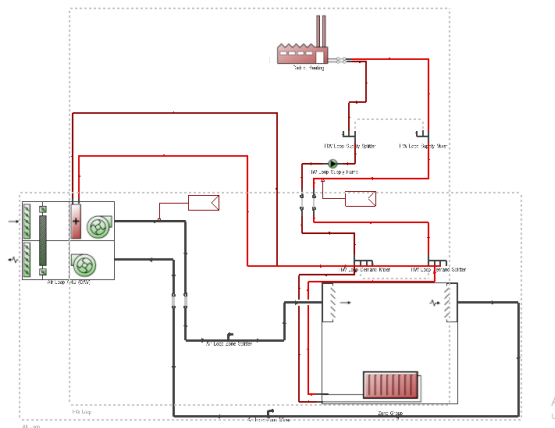


Рисунок 7 – Система опалення запропонованої (proposed) моделі

З аналізу отриманих результатів, загальне споживання енергії запропованою моделлю житлової будівлі значно знизилось у порівнянні з базовою. При енергетичному моделюванні запропонованої будівлі було отримано значне зменшення споживання енергоресурсів, що свідчить про зниження викидів парникових газів у навколишнє середовище та зменшення грошових видатків на оплату послуг з енергопостачання, а отже запропоновані заходи є доцільними до впровадження.

Як варіант покращення енергетичної ситуації будинку запропоновано встановити на даху житлового будинку фотоелектричну систему, яка задовольнятиме частину енергопотреби будівлі та буде підключена до загальної електромережі для продажу електроенергії при її надлишку, а саме розмістити колектори виробництва компанії Viessmann моделі Vitosol 100 - F, під'єднаних до баку-акумулятору, який, у свою чергу, контактує з мережею централізованого водопостачання (Рис. 7). Колектори розташовані на південній половині скатного даху під кутом 35° до горизонту та запропоновано встановити різну кількість колекторів, на прикладі трьох випадків: low, middle та high [9, 10].

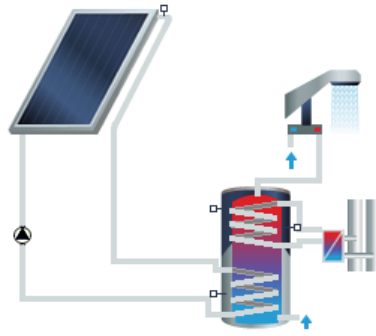


Рисунок 7 – Схема функціонування системи сонячних колекторів

Результати розрахунків динаміки споживання теплоти від сонячних колекторів для всіх трьох випадків наведені на Рис. 8 – 10.

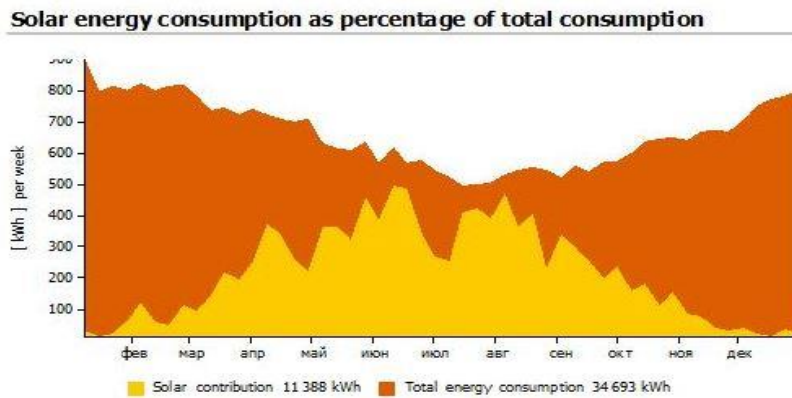


Рисунок 8 – Динаміка споживання теплоти від СК при low

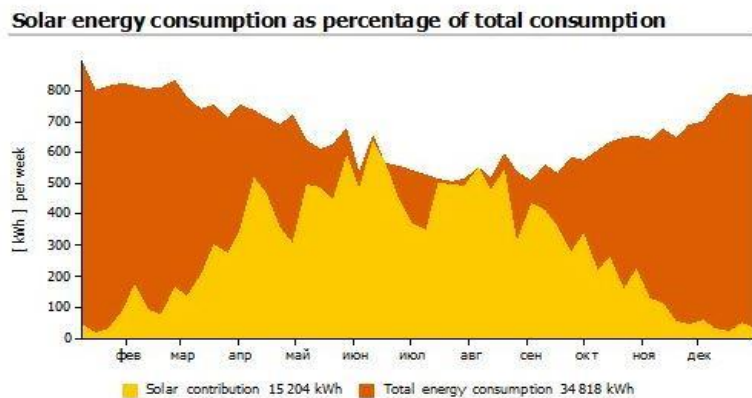


Рисунок 9 – Динаміка споживання теплоти від СК при middle

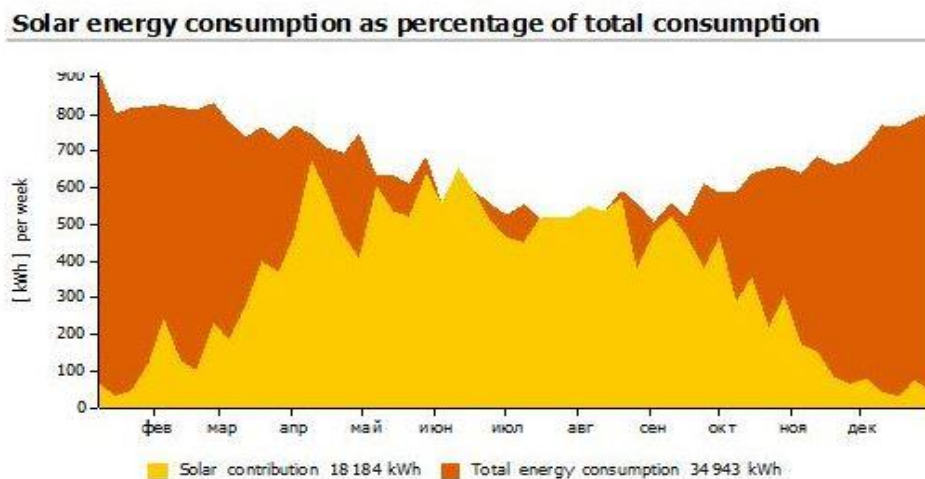


Рисунок 10 – Динаміка споживання теплоти від СК при high

З точки зору рентабельності найбільш доречним є – варіант middle зі встановленням 15 колекторів і графіком задоволення потреб в гвп. В третьому випадку high система має надлишок теплової енергії в літні місяці (на що вказує графік), але вона є недоцільною в використанні із-за великих капіталовкладень.

Висновки

При виконанні моделювання було досліджено та проаналізовано всі енергетичні системи: теплопостачання, електропостачання та постачання холодної води. Глибоко проаналізовані всі відповідні параметри та показники.

При моделюванні були запропоновані заходи з енергозбереження, такі як встановлення системи сонячних колекторів та фотоелектричної системи.

Для доведення доцільності впровадження запропонованих заходів окрім технічних показників були розглянуті ще й економічні.

Перелік використаних джерел

1. ДСТУ EN 15603:2013 ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЕЛЬ. Загальне енергоспоживання та проведення енергетичної оцінки (EN 15603:2008, IDT). [Чиний від 01.01.2014].
2. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII. Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 33, ст.359.
3. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.nerc.gov.ua>.
4. ДСТУ-Н Б А.2.2-13:2015. Енергетична ефективність будівель. [Чиний від 2016-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2015. 25 с.
5. Енергетичні системи та комплекси. Системи виробництва та розподілу енергії: Визначення теплового навантаження будівель та вибір системи теплопостачання: навчальний посібник для студентів напрямів підготовки 6.050701 "Електротехніка та електротехнології", 6.050601 "Теплоенергетика" / В.В.Дубровська, В.І Шкляр. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 112 с.
6. DesignBuilder Simulation + CFD Training Guide [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.designbuilder.co.uk/training/online-learning/tutorials> - Назва з екрану.

7. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010. – [Чинні від 2011-11-01] // Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2011. – 123 с. – (Національний стандарт України).

8. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6–31:2016. – [Чинні від 2016–10–08, на заміну ДБН В.2.6–31:2006.] // Мінбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2016. –33 с. – (Державні будівельні норми України)

9. Опалення, вентиляція та кондиціонування: ДБН В.2.5-67:2013. – [Чинні від 2014–01–01] // Мінбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2013. – 149 с. – (Державні будівельні норми України).

10. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні: ДСТУ- Б А.2.2-12:2015. – [Чинні від 2016-01-01] // Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2015. – 145 с. – (Національний стандарт України).

Науковий керівник: к.т.н., ст.викл Буяк Н.А.

УДК 621.311

Лукашенко Є.О.
кафедра теплотехніки та енергозбереження**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ «ДЖЕРЕЛО ТЕПЛОТИ – ЛЮДИНА – ОГОРОДЖУВАЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ» НА ПРИКЛАДІ ЖИТЛОВОЇ БУДІВЛІ**

***Анотація.** Метою статті є енергоефективність системи «Джерело теплоти – людина – огороджувальні конструкції» на прикладі житлової будівлі для визначення існуючих, сучасних підходів для визначення ефективності використання електричної та теплової енергії, застосування цих методик дозволить мінімізувати втрати енергії та зекономити кошти. В статті розглянуто загальну класифікацію моделей та методів прогнозування ціни на електричну енергію та проведено їх порівняльний аналіз за змістом та сферою практичної реалізації для визначення переваг та недоліків. На підставі проведеного порівняльного аналізу визначено найдоцільніші моделі та методи для короткострокового прогнозування ціни на оптовому ринку електричної енергії.*

***Ключові слова:** енергоефективність системи, ексергетичний аналіз, житлова будівля, підвищення енергоефективності, енергозбереження.*

***Abstract.** The goal of the article is the energy efficiency of the system "Heat source - man - enclosing structures" on the example of a residential building to determine existing, modern approaches to determine the efficiency of electricity and heat, the use of these techniques will minimize energy loss and save money. The article considers the general classification of models and methods of forecasting the price of electricity and comparative analysis of their content and scope of practical implementation to determine the advantages and disadvantages. Based on the comparative analysis, the most appropriate models and methods for short-term price forecasting in the wholesale electricity market are identified.*

***Key words:** system energy efficiency, exergy analysis, residential building, energy efficiency improvement, energy saving.*

Вступ

Сучасні норми та закони зобов'язують враховувати параметри енергоефективності при проектуванні нових або ремонті старих будівель.

Близько 40 % світового енергоспоживання та 1/3 викидів парникових газів припадає на будівлі [1]. Відповідно до цього адаптують українські стандартів до міжнародних і відповідно зростають вимоги щодо ефективного використання енергії будівлями [2–4]. Підвищення енергетичної ефективності будівель можливе за рахунок сукупності заходів, спрямованих на теплозахисну оболонку будівлі, систему опалення та джерело теплоти. Тому це питання вимагає загального комплексного підходу вирішення, враховуючи різні обмеження, спричинені вимогами до належної якості мікроклімату у приміщенні. Висока якість мікроклімату у приміщеннях представлена сучасними стандартами та показниками [5–8].

Мета та завдання

Метою статті є енергоефективність системи «Джерело теплоти – людина – огороджувальні конструкції» на прикладі житлової будівлі для визначення існуючих,

сучасних підходів для визначення ефективності використання електричної та теплової енергій, застосування цих методик дозволить мінімізувати втрати енергії та зекономити кошти.

Мета дослідження – визначення показників енергоефективності та рівня теплового комфорту житлової будівлі.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розвитку методичних аспектів та методів аналізу, оцінювання і моніторингу показників ефективності енерговитрат житлових будівель.

Матеріал та результати досліджень

Енергозбереження починається з чіткого розуміння необхідності покращення економічних показників за рахунок меншого споживання енергоресурсів. Для того щоб забезпечити раціональне використання енергетичних ресурсів необхідний ефективний підхід до аналізу систем споживання енергії. Скорочення витрат на паливно-енергетичні ресурси досягається шляхом доведення споживання енергетичних ресурсів до кращих світових показників за рахунок проведення організаційних і технічних заходів з енергозбереження.

На даний момент існує багато програмних розробок для швидкого і зручного розрахунку систем з використанням альтернативних та нетрадиційних джерел енергії.

В даному розділі розглянуто і проведено опис програмних продуктів, які використовуються саме для таких розрахунків:

- *використання систем автоматизованого обліку, моніторингу та аналізу;*
- *аналіз комбінованої роботи автономної системи генерації та централізованого енергозабезпечення.*

Однією з програм була саме PV*SOL premium – це програма динамічного моделювання з 3D-візуалізацією та детальним аналізом затінення для розрахунку фотоелектричних систем у поєднанні з електроприладами, акумуляторними системами та електромобілями[9].

Проектувати системи альтернативних джерел енергії зручно в програмному середовищі PVSol Premium (ФЕП) та TSol (сонячні колектори). Візуалізація в 3D-режимі надає детальну інформацію про тіні, подані в різні часи дня і року, і, отже, про можливі скорочення надходжень сонячної радіації. Завдяки детальному аналізу затінення окремих модулів ефект оптимізації потужності на виході системи також можна точно розрахувати у вищезазначених програмах.

Пропонується на даху чотириповерхової секції освітнього закладу, будівельні характеристики якого наведені в розділі 1, встановити фотоелектричну систему, яка задовольнятиме частину енергопотребі школи та буде підключена до загальної електромережі для продажу електроенергії при її надлишку.

Пропонується розмістити 596 модулів виробництва компанії LG моделі LG315NIK-A5, під'єднаних до шести інверторів Huawei SUN-2000-20KTL-M2 (по 3 MPP-трекера на кожний). Панелі розташовані на південній половині скатного даху у три ряди під кутом 30° до горизонту (рис.1-2).



Рисунок 1 – Схема розташування сонячних панелей

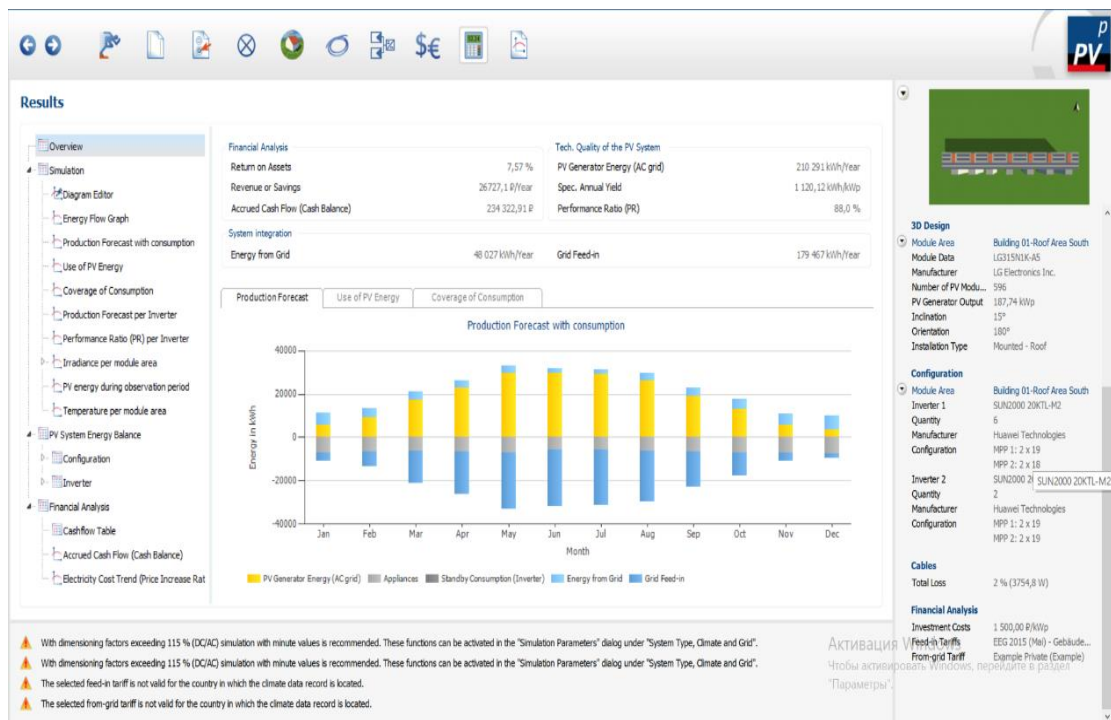


Рисунок 2 – Характеристики сонячних панелей

Програмне забезпечення «PV*SOL premium» також розраховує величину капіталовкладень та термін їх окупності. Загальна величина капіталовкладень $K = 115000\$,$ а загальна величина економії грошей складає $\Delta E = 7250 \$/\text{рік}.$ Офіційний курс гривні до іноземних валют Національного банку України від 20.11.2021: $1 \$ = 27,9 \text{ грн}.$

Простий термін окупності знайдемо за формулою:

$$T=115000/7250=15,8 \text{ року.}$$

Пропонується розмістити 154 колекторів виробництва компанії Viessmann моделі VITOSOL 050 , під'єднаних до баку-акумулятору, який, у свою чергу, контактує з мережею централізованого водопостачання (рис. 3). Колектори розташовані на південній половині скатного даху під кутом 30° до горизонту.



Рисунок 3– Схема функціонування системи сонячних колекторів

Таблиця 1 – Характеристики встановленої системи СК

Параметр системи СК	Характеристика
Теплова потужність системи, кВт	181,19
Загальна площа поверхні колекторів, м ²	258,84
Частка заміщення централізованого ГВП, %/рік	39,8
Річна генерація теплоти, (кВт·год)/рік	4097
Ефективність роботи системи, %	32,6
Зниження викидів CO ₂ , кг/рік	19333,34

Програмне забезпечення «Т*SOL 2020 R1» також розраховує величину капіталовкладень та термін їх окупності. Загальна величина капіталовкладень $K = 11565 \$$, а загальна величина економії грошей складає $\Delta E = 387 \$/\text{рік}$. Офіційний курс гривні до іноземних валют Національного банку України від 20.11.2021: 1 \$ = 27,9грн.

Простий термін окупності знайдемо за формулою:

$$T_{ок.} = \frac{11565}{387} = 29,8 \text{ року}$$

Було проведено ексергетичний аналіз для багатоквартирного житлового будинку.

Ексергетичний аналіз дозволяє знаходити шляхи підвищення ефективності роботи теплосилової установки, аналізуючи причини втрати ексергії у вузлах і обґрунтовуючи рекомендації по вдосконаленню циклів теплоенергетичних установок (рис. 4-5).

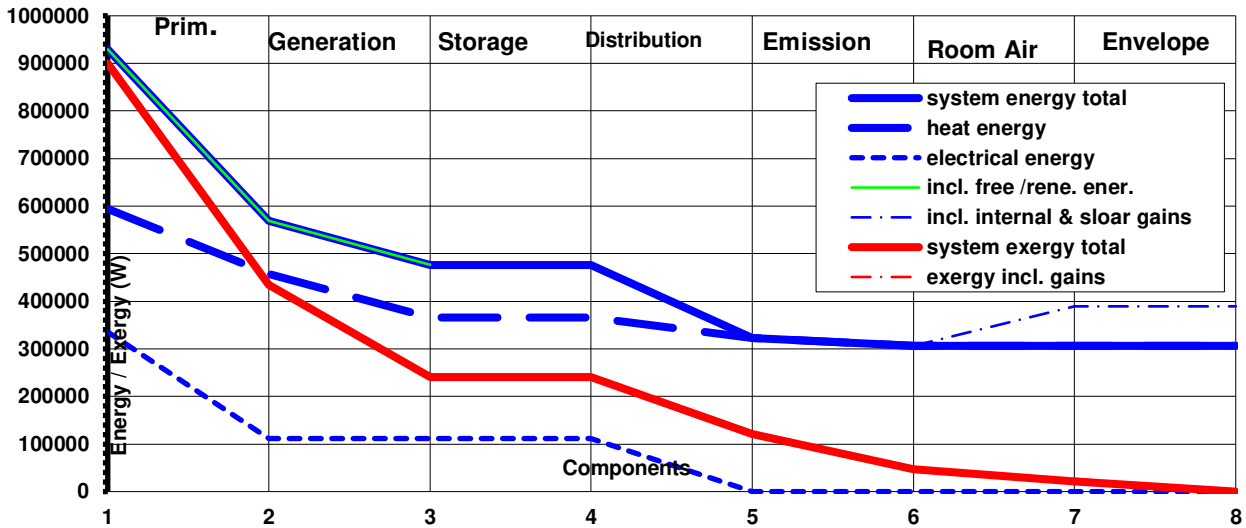


Рисунок 4– Ексергія та потоки енергії через компоненти

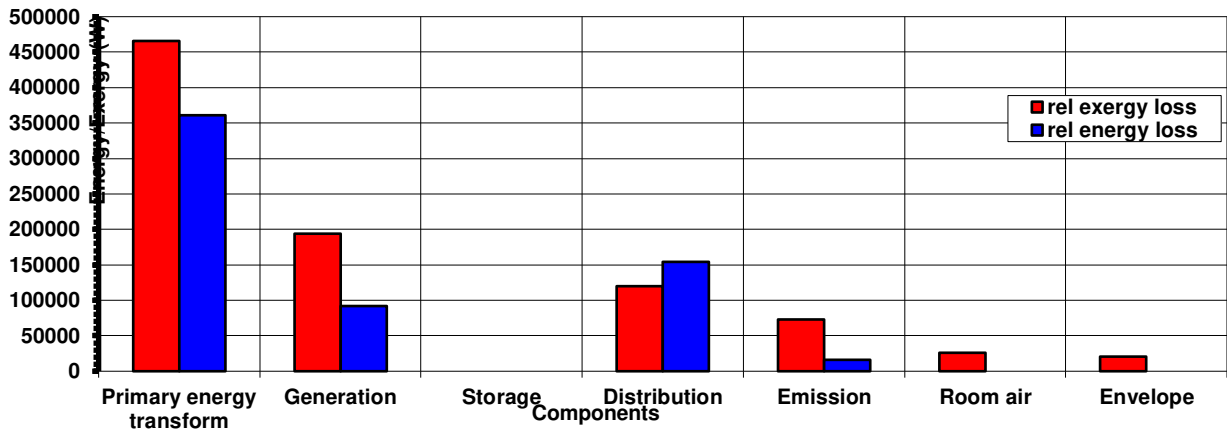


Рисунок 5– Втрати ексергії / споживання компонентами

Графіки представлені нижче на рисунках для норм Швеції. Завершальна робота полягає в оцінці теплового комфорту. При суттєвій зміні термічного опору, комфорт мешканців будівлі стане кращим (рис. 6-7).

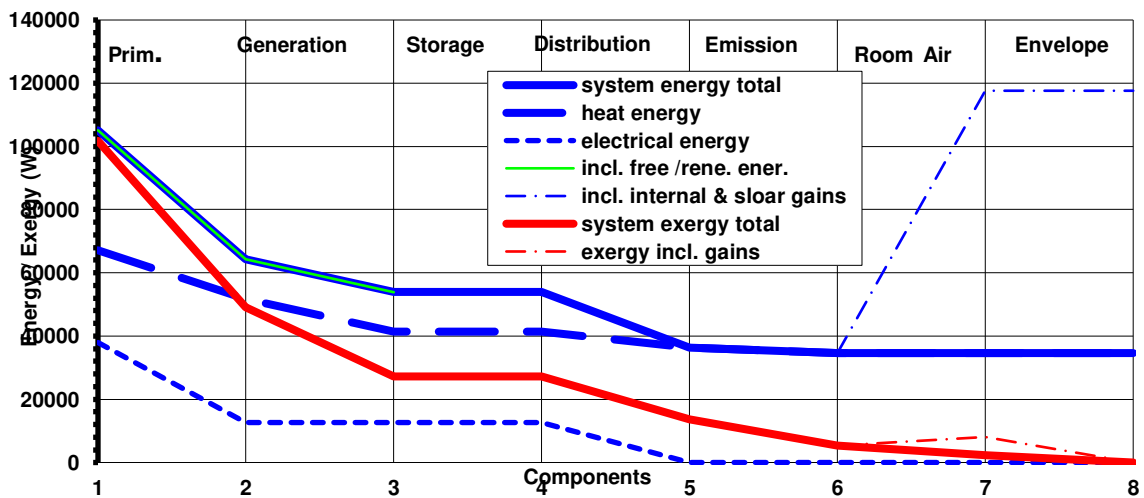


Рисунок 6– Ексергія та потоки енергії через компоненти (норми Швеції)

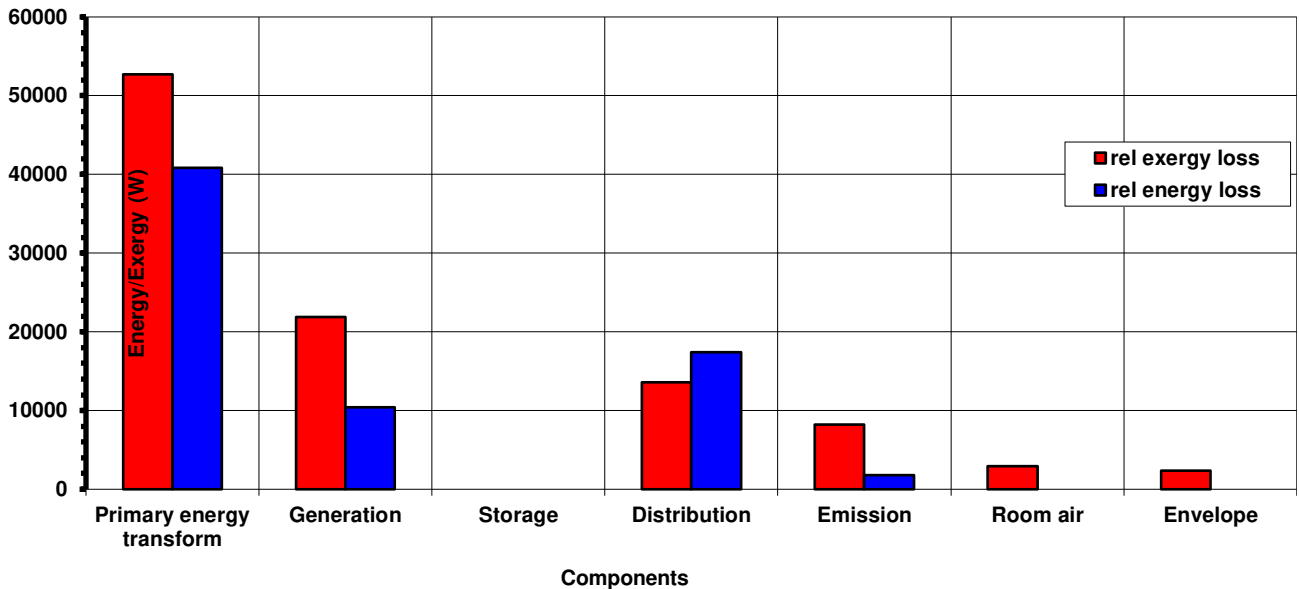


Рисунок 7– Втрати ексергії / споживання компонентами (норми Швеції)

Висновки

При виконанні моделювання було досліджено та проаналізовано всі енергетичні системи: теплопостачання, електропостачання та постачання холодної води. Глибоко проаналізовані всі відповідні параметри та показники.

При моделюванні були запропоновані заходи з енергозбереження, такі як:

- заміна старих дерев'яних вікон на енергоефективні металопластикові склопакети;
- утеплення зовнішніх стін;
- утеплення даху;
- встановлення системи СК.
- заміна електрообладнання (підвищення класу енергоефективності);
- встановлення фотоелектричної системи.
- Встановлення колекторів

Для доведення доцільності впровадження запропонованих заходів окрім технічних показників були розглянуті ще й економічні та проведено ексергетичний аналіз.

Перелік використаних джерел

1. АН "Планета Оболонь". Класифікація багатоквартирних житлових будівель міста Києва [Електронний ресурс] / АН "Планета Оболонь". – 2004. – Режим доступу до ресурсу: <http://domik.ua/poleznoe/classification.html>.
2. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6–31:2016 (на заміну ДБН В.2.6-31:2006 (зі змінами від 1 липня 2013 р.)). – [Чинні від 2017–05–01] // Мінрегіон України. – К.: Укрархбудінформ, 2017. – 65 с. – (Державні будівельні норми України).
3. Енергетичні системи та комплекси. Системи виробництва та розподілу енергії: Визначення теплового навантаження будівель та вибір системи теплопостачання: навчальний посібник / В.В.Дубровська, В.І Шкляр. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 112 с.
4. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010. – [Чинні від 2011-11-01] //

Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2011. – 123 с. – (Національний стандарт України).

5. Теплові мережі. Навчальний посібник / Н. Д. Степанова, Д. В. Степанов. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 135 с.

6. Назаренко А. О. Система керування теплоспоживанням будівель з комбінованим теплопостачанням і використанням сонячної енергії : дис. канд. техн. наук : 05.14.01 / Назаренко Андрій Олегович – Київ, 2016. – 181 с.

7. Опалення і вентиляція. Підручник для вузів / П. М. Каменєв, О. М. Сканаві., 1975. – 483 с.

8. Теплові мережі: ДБН В.2.5-39:2008 – [Чинні від 2008–12–09] // Мінрегіонбуд України. – К., 2009. – 56 с. – (Державні будівельні норми України).

9. <https://setech.in.ua/ru/programmnoe-obespetchenie-pv-sol/>

Науковий керівник: к.т.н., ст.викл Буяк Н.А.

**СЕКЦІЯ 3.
ІНЖИНІРИНГ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ**

УДК 621.3

Кучерявий А.В.

Кафедра автоматизації електротехнічних і мехатронних комплексів

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ ПОТОКОЗЧЕПЛЕННЯМ РОТОРА
У ВЕКТОРНО-КЕРОВАНИХ ПРИВОДАХ З АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ**

Анотація. Асинхронний двигун широко використовується в наш час. Причому значна частина з цих двигунів функціонує в повторно-короткочасних режимах з частими пусками і гальмуваннями (наприклад, на ліфтах і кранових механізмах, в тягових приводах міського електротранспорту та ін.) У зв'язку з тим, що спостерігається подорожчання електричної енергії видається актуальною задача зниження втрат електроенергії для вищезазначених АД в режимі їх намагнічування (який призначений для створення необхідного значення робочого магнітного потоку в двигуні перед початком його розгону) і режимі розмагнічування (який слугує для зменшення до нуля магнітного потоку двигуна після зниження його швидкості до нуля при тривалій зупинці). За рахунок керування можна не тільки вирішити існуючі проблеми енергозбереження, але і збільшити термін служби електродвигуна.

Ключові слова: електропривод, потокозчеплення, векторне керування, математична модел, втрати.

Abstract. The induction motor is widely used nowadays. And a significant part of these engines operates in repeated short-term modes with frequent starts and braking (for example, on elevators and crane mechanisms, in traction drives of city electric transport, etc.) Due to the fact that the observed rise in price of electricity seems an urgent task reduction of power losses for the above BP in the mode of their magnetization (which is designed to create the required value of the working magnetic flux in the engine before overlocking) and demagnetization mode (which serves to reduce to zero the magnetic flux of the engine after reducing its speed to zero with a long stop) . At the expense of management it is possible not only to solve existing problems of energy saving, but also to increase service life of the electric motor.

Вступ. На сьогоднішній день широкого використання набули асинхронні електродвигуни (АД) з короткозамкненим ротором. Їх широке застосування обумовлюється низькою вартістю, простотою в обслуговуванні, експлуатації, конструкції і високою надійністю. Дані АД випускаються на широкий спектр потужностей. В даний час близько половини вироблюваної у світі електроенергії, у тому числі й в Україні, споживається асинхронними двигунами (АД). Приблизно 70% працюючих АД є нерегульованими. У той же час більшість технологічних процесів вимагають регулювання швидкості або інших координат (моменту, положення, натягу, тиску тощо). Регулювання швидкості АД можна забезпечити за рахунок застосування сучасних методів керування, зокрема, векторного керування (ВК). Зараз електроприводи із ВК розроблені і продаються багатьма фірмами дальнього зарубіжжя. В Україні такі електроприводи не виробляються. Вартість і ремонт електроприводів, що постачаються, дуже високі.

Мета та завдання. Необхідно дослідити процеси регулювання потокозчеплення

ротора у векторно-керованих приводах з асинхронним двигуном.

Матеріал і результати досліджень.

Питанню синтезу законів керування процесами намагнічування та розмагнічування АД присвячені роботи [1, 2, 3], але у цих роботах намагаються насамперед форсувати процес намагнічування з метою зменшення часу пуску двигуна. В [1] збільшують рівень обмеження регулятора струму намагнічування, який виробляє завдання на складову струму статора – d , під час пуску двигуна до рівня максимально-припустимого значення повного струму статора, а після досягнення струмом (i_d) номінального значення, знижувати його. В роботі [2] розглядається питання синтезу керування процесом попереднього намагнічування АД зі скалярним керуванням, а в роботі [3] – процесом намагнічування АД у складі системи ДТС.

Спрощена структурна схема системи векторного керування АД при нерухомому двигуні в обертовій ортогональній системі координат d - q , орієнтованій за вектором потокозчеплення ротора, зображена на рис. 1.

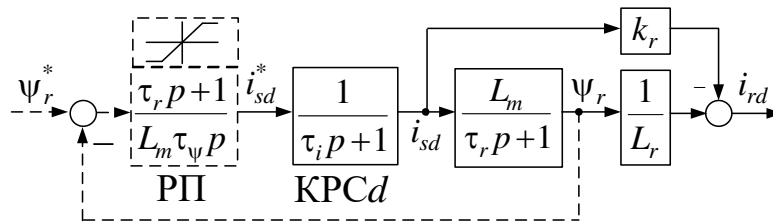


Рисунок 1 – Структурна схема системи векторного керування АД при нерухомому двигуні

Позначення, які використані: РП – регулятор потокозчеплення; КРСd – замкнений контур регулювання d – складової струму статора; ψ_r, i_{sd} – сигнали завдання на потокозчеплення ротора та потокоутворюючу складову струму статора; $\tau_i = L_r/R_r$ – стала часу ротора; L_r, R_r – індуктивність та активний опір ротора; $k_r = L_m/L_r$ – коефіцієнт магнітного зв'язку ротора; τ_i, τ_ψ – сталі часу інтегрування розімкнених контурів струму та потокозчеплення відповідно.

При прямому керуванні (DFOC) система складається з контуру потокозчеплення і підпорядкованого йому контуру струму, а при непрямому керуванні (IFOC) регулятор потокозчеплення відсутній.

Сумарні теплові втрати в міді, зумовлені потокоутворюючими складовими струмів статора та ротора, що підлягають мінімізації, обчислюються за формулою:

$$\Delta W = \int_0^{t_f} \Delta P(t) dt = 3 \int_0^{t_f} [R_s I_s^2(t) + R_r I_r^2(t)] dt = \frac{3}{2} \int_0^{t_f} [R_s i_{sd}^2(t) + R_r i_{rd}^2(t)] dt,$$

де $\Delta P, \Delta W$ – потужність та енергія втрат відповідно; I_s, I_r – ефективні значення фазних струмів статора і ротора; i_{sd}, i_{rd} – потокоутворюючі складові струмів статора і ротора, які при нерухомому двигуні (за умов $i_{sq}=0, i_{rq}=0$) дорівнюють амплітудним значенням цих струмів, внаслідок чого $i_{sd} = \sqrt{2} I_s$.

З точки зору теорії оптимального керування енергія втрат являє собою мінімізований функціонал, а потужність втрат – підінтегральну функцію цього функціоналу.

Графіки залежності втрат при намагнічуванні та розмагнічуванні від часу перехідного

процесу, що забезпечують їх мінімізацію, зображені на рис.1.2, 1.3 суцільними лініями. Кружечками на рисунках помічені екстремальні точки графіків.

Втрати при оптимальному керуванні потокозчепленням прагнуть до мінімуму при $t_f \rightarrow \infty$:

$$\Delta W_{sh\ min}^{dem} = \Delta W_c (\lambda - 1), \quad \Delta W_{sh\ min}^{mag} = \Delta W_c (\lambda + 1).$$

Але практично втрати майже не змінюються при $t_f \geq 3\tau$.

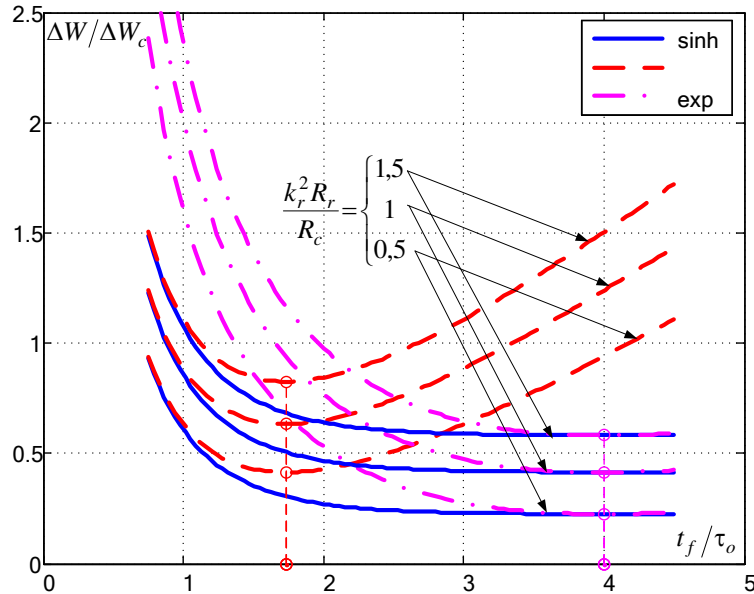


Рисунок 2 – Діаграма теплових втрат в обмотках статора і ротора нерухомого асинхронного двигуна при його розмагнічуванні

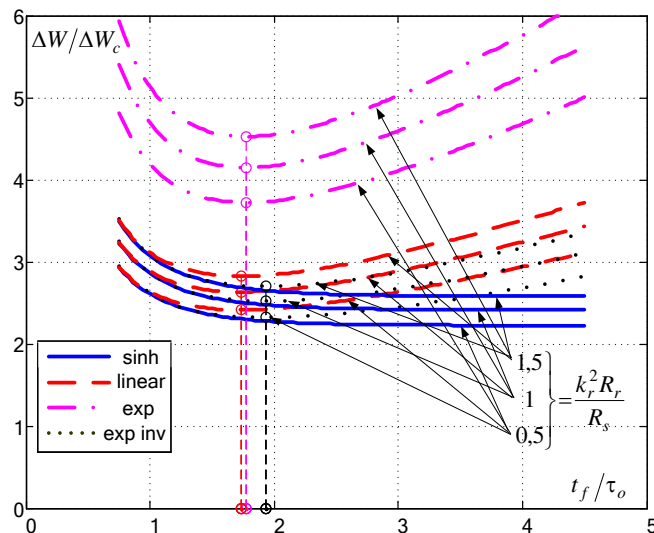


Рисунок 3 – Діаграма теплових втрат в обмотках статора і ротора нерухомого асинхронного двигуна при його намагнічуванні

З рис. 2-3 видно, що намагнічування за експоненціальним законом супроводжується максимальними втратами. Для швидкого намагнічуванні краще за все застосовувати лінійний закон, тому що при малих t_f втрати при синус гіперболічному та лінійному законах майже однакові, проте лінійний простіше сформувати.

Висновок: Намагнічування та розмагнічування при малих t_f , краще за все виконувати за лінійним законом. Проте із точки зору енергоефективності, найбільш оптимальним методом керування потокозчепленням асинхронного двигуна є синус-гіперболічний закон. Час при цьому вимагається найбільший серед усіх законів, але витрати отримуються найменші. Із всіх вище проаналізованих методів керування потокозчепленням, найбільші втрати при розмагнічуванні та намагнічуванні за експоненціальним законом.

Перелік посилань:

1. Borisevich A. Numerical method for power losses minimization of vector-controlled induction motor // *International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS)*. – Vol. 6, No. 3, September 2015, pp. 486~497.

2. Blanuša B.D., Dokic B.L., Vukosavic S.N. Efficiency optimized control of high performance induction motor drive // *Electronics*. – 2009. – Vol. 13, No. 2. – P. 8-13.

3. Volkov V.A. Optimization of magnetization and demagnetization modes in frequency-controlled induction motor // *Electrotechinc and energetic. Scientific proceedings of DonNTU*. – 2013. – Vol.2 – P. 59-66 (Rus).

4. Seena T., Rinu A.K. Efficiency optimization with improved transient performance of indirect vector controlled induction motor drive // *International Journal of advanced research in electrical, electronics and instrumentation engineering* – Vol. 2, Special Issue 1, 2013. pp. 374-385.

5. Volkov V. A. Optimization of magnetization and demagnetization times of a stopped frequency-controlled induction motor. *Electrotechnics and electricity*. – 2018. – № 4. – С. 17-29 (Rus). DOI: 10.15588/1607-6761-2018-4-2.

УДК62-505

Караульний К.Т.

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ЛІФТОВОЇ ПІДЙОМНОЇ УСТАНОВКИ АДМІНІСТРАТИВНОЇ БУДІВЛІ

У статті приведено розрахунки для пасажирської ліфтової установки у адміністративній будівлі. Розрахунки дозволяють більш точно оцінити параметри ліфтової установки.

Ключові слова: підйомні ліфтові установки, електропривод.

FEATURES OF CALCULATION ELEVATOR LIFTING INSTALLATION OF ADMINISTRATIVE BUILDING

The article presents calculations for a passenger elevator installation in an administrative building. Calculations allow you to more accurately assess the parameters of the elevator installation.

Key words: lifting elevators, electric drive.

В сучасних умовах розвитку технологій та повсюдного покращення умов життя, ліфтові установки не залишились у стороні. На світовому ринку вже конкурують такі гіганти як Schindler, Otis, KONE, тому пошук нових, ефективних технічних рішень є ключовим елементом набуття конкурентноспроможності в даній області.

Мета роботи. Спроекувати ліфтову підйомну установку вантажопідйомністю 300 кг для п'ятиповерхової адміністративної будівлі.

Матеріал та результат досліджень.

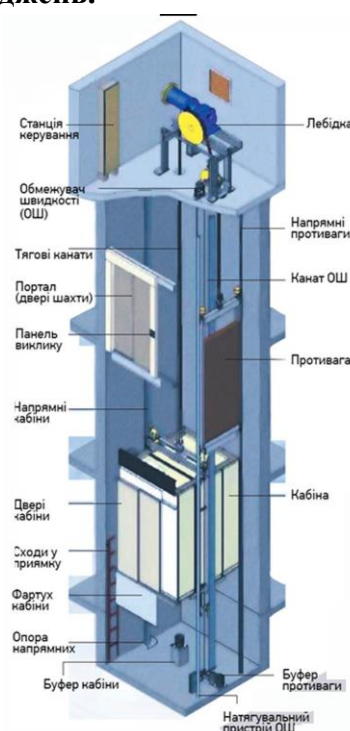


Рисунок 1 – Загальна будова ліфтової підйомної установки

Робота ліфтової установки

Основним вузлом керування є станція керування ліфтом, яка управляє механізмами і контролює роботу ліфта, також забезпечує безпеку для користування.

У будинках адміністративного призначення та навчальних закладах графік роботи та розклад навчальних занять визначає характерні сплески інтенсивності пасажиропотоків на початку та наприкінці робочого дня, рис. 2.

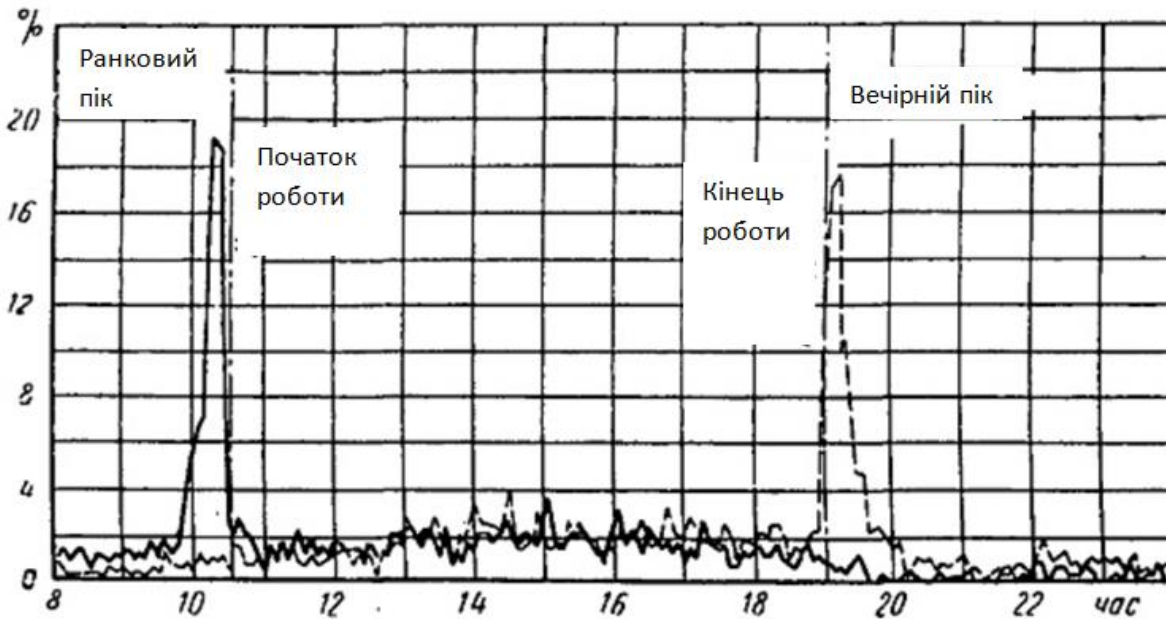


Рисунок 2 - Графіки зміни пасажиропотоків в адміністративній будівлі

У житлових будинках масової забудови ранкові та вечірні сплески інтенсивності пасажиропотоків менш чітко виражені, рис. 2. Значення пасажиропотоку прийнято визначати кількістю пасажирів, що прямують в одному напрямку в одиницю часу.

Для порівняння інтенсивності пасажиропотоків у будинках різного призначення служить показник інтенсивності п'ятихвилинного потоку, виражений у % від загальної кількості людей, що користується ліфтом.

Приймаються такі показники інтенсивності п'ятихвилинного пасажиропотоку: житлові будинки масової забудови – $3 \div 6\%$; готелі – $7 \div 15\%$; адміністративні будівлі – $14 \div 20\%$; будівлі та споруди громадського призначення – $15 \div 20\%$; навчальні заклади – $20 \div 35\%$.

Розрахунок вертикального транспорту в житлових, адміністративних будинках та готелях виробляються для умови двостороннього пасажиропотоку з урахуванням характеру розміщення ліфтового обладнання та наявності експресних зон (частина висоти будівлі, де кабіна рухається без зупинок) ліфтового обладнання.

1) Виконаємо розрахунок ліфтових витягів на прикладі житлової будівлі середньої поверховості при двосторонньому пасажиропотоку.

$$A_5 = \sum_2^n a_i \cdot \frac{I}{100} \text{ чол/год}$$

де a_i , - Заселеність i -ого поверху будівлі; I - Розрахункова інтенсивність п'ятихвилинного пасажиропотоку, %; n — кількість поверхів, що обслуговуються ліфтом.

Заселеність першого поверху до уваги не береться.

2) Розрахунковий годинний пасажиропотік

$$A_p = 12 \cdot K \cdot A_5 \text{ чол/год}$$

де K - коефіцієнт, що враховує нерегулярність пасажиропотоку, пов'язану із захворюванням людей та відпустками ($K = 0,8 \div 0,9$).

3) Розрахунковий наведений годинний пасажиропотік при русі кабіни:

на підйом $A_{\text{п}} = 0,66 \cdot A_p$ чол/год; на спуск $A_{\text{с}} = 0,34 \cdot A_p$ чол/год

4) За вихідними даними визначаємо категорію якості ліфтового обслуговування (п'ятибальна система оцінки) та відповідне їй значення величини інтервалу. Воно приймається в діапазоні від 25 с до 90 с залежно від ступеня престижності будівлі та оцінки якості ліфтового обслуговування.

5) Визначаємо розрахункову швидкість кабіни ліфта залежно від висоти підйому проектування по виразу

$$V = \frac{H}{20 \dots 30} \text{ м/с}$$

Отримане значення швидкості округлити до найближчого рекомендованого ДСТУ для відповідного типу ліфта.

6) Розрахункова місткість кабіни визначається залежно від прийнятого інтервалу з урахуванням інтенсивності наведеного потоку на підйом та спуск

$$\text{на підйом } E_{\text{п}} = \frac{A_{\text{п}} \cdot t_{\text{н}}}{3600} \text{ чол.}; \text{ на спуск } E_{\text{с}} = \frac{A_{\text{с}} \cdot t_{\text{н}}}{3600} \text{ чол.}$$

За каталогом виробника ліфтів та більшою величиною розрахункової місткості вибирається фактичне значення місткості кабіни E .

7) Час кругового рейсу кабіни

$$T = \frac{2 \cdot H_{\text{в}} + h \cdot (N_{\text{п}} + N_{\text{с}} + 1)}{V} + K_t \cdot (t_0 \cdot (N_{\text{п}} + N_{\text{с}} + 1) + t_{\text{п}}) \text{ с}$$

де $H_{\text{в}}$, - можлива висота підйому кабіни ліфта, м; h м — шлях руху кабіни з швидкістю, що не встановилася, при розгоні і уповільненні, м; $N_{\text{п}}$, $N_{\text{с}}$ - число можливих зупинок кабіни при підйомі та спуску; V - розрахункова швидкість руху кабіни, що встановився, м/с; K_t - коефіцієнт, що враховує додаткові витрати часу; t_0 - витрати часу на прискорення, уповільнення та пуск ліфта, на відкриття та закривання дверей кабіни, сек; $t_{\text{п}}$ - витрати часу на вхід та вихід пасажирів, сек.

Величина ймовірної висоти підйому $H_{\text{в}} = (0,7 \dots 0,9) \cdot H$, м. Більше значення відповідає для випадку проектуванню з рівномірного заселення поверхів.

Величина шляху розгону, уповільнення кабіни та технічних витрат часу залежить від вантажопідйомності та швидкості руху кабіни: для пасажирського ліфта вантажопідйомністю 320÷1000 кг при швидкості від 0,71 до 1 м/с $h = 1,5 \div 2,0$ м; $t_0 = 10 \div 12$ с; для пасажирських ліфтів зі швидкістю 1,4 м/с та 2 м/с $h = 3 \div 3,5$ м; $t_0 = 12 \div 14$ сек; за швидкості 4 м/с $h = 9 \div 10$ м; $t_0 = 14 \div 16$ с.

Час входу та виходу пасажирів під час руху вгору та вниз:

$$t_{\text{п}} = 2 \cdot E \cdot t_1 \cdot (y_{\text{п}} + y_{\text{с}}), \text{ с}$$

де $y_{\text{п}} = 0,66 - 0,8$ коефіцієнт заповнення кабіни під час руху на підйом; $y_{\text{с}} = 0,34 - 0,5$ коефіцієнт заповнення при спуску кабіни; $t_1 = 0,8 + 2$ з час входу та виходу одного пасажирів,

що залежить від ширини дверного отвору (менші значення відповідають ширині отвору 1000 і більше мм, а більші - відповідають ширині дверного отвору менше 1000 мм).

Коефіцієнт, що враховує додаткові витрати часу під час роботи ліфта визначається залежно від призначення будівлі: $K_t = 1,05-1,10$ для житлових будинків; $K_t = 1,10-1,15$ для готелів.

Число можливих зупинок при підйомі та спуску кабіни

$$N_{\Pi} = N - N * \left(\frac{N-1}{N}\right)^{y_{\Pi} * E}$$

$$N_c = N - N * \left(\frac{N-1}{N}\right)^{y_c * E}$$

де N - кількість можливих зупинок кабіни на поверхових майданчиках; y_{Π} , y_c - величина коефіцієнта заповнення кабіни при підйомі та спуску.

8) Продуктивність ліфта при двосторонньому пасажиропотоці

$$P = \frac{3600 * (y_{\Pi} + y_c)}{T} \text{ пас/год}$$

9) Необхідна кількість ліфтів

$$n = \frac{T}{t_n}$$

10) Коефіцієнт використання продуктивності ліфтів

$$K_p = \frac{A_p}{P * n}$$

Рекомендовані значення цього коефіцієнта становлять:

$$K_p = 0,8 \dots 1,0$$

Розрахунок приведених величин проведено у середовищі MATCAD

Початкові дані:

Кількість поверхів $N = 5$

Висота одного поверху $H_1 = 2.9$ м

Інтенсивність пасажиропотоку $I = 14\%$

Категорія якості ліфтового обслуговування $t_n = 76$ с

Коефіцієнт врахування нерегулярності пасажиропотоку $K = 0.8$

Кількість працівників на кожному поверсі:

1 поверх - 13 чол., 2 поверх - 8 чол., 3 поверх - 13 чол., 4 поверх - 10 чол., 5 поверх - 11 чол.

Початкові дані:

$N=5$ $I=14$ $K=0.8$ $H_1=2.9$ $t_n = 76$

$a_1 = 13$ $a_2 = 8$

$a_3 = 13$ $a_4 = 10$

$a_5 = 11$

Розрахунок:

$H = H_1 * N = 14,5$

$A_5 = \frac{I}{100} * (a_2 + a_3 + a_4 + a_5) = 5.88$

$A_p = 12 * K * A_5 = 56.448$

$A_{\Pi} = 0,66 * A_p = 37.255$

$A_c = 0,34 * A_p = 19.192$

$$V = \frac{H}{20} = 0.725$$

$$E_{\Pi} = \frac{A_{\Pi} * t_H}{3600} = 0.787$$

$$E_c = \frac{A_c * t_H}{3600} = 0.405$$

$$E = 2$$

$$H_B = (0,7 \dots 0,9) * H = 10.15$$

$$h = 1.5 t_1 = 0.9$$

$$t_0 = 10 y_{\Pi} = 0.78 y_c = 0.5$$

$$t_{\Pi} = 2 * E * t_1 * (y_{\Pi} + y_c) = 4.608$$

$$K_t = 1.05$$

$$N_{\Pi} = N - N * \left(\frac{N-1}{N}\right)^{y_{\Pi} * E} = 1.47$$

$$N_c = N - N * \left(\frac{N-1}{N}\right)^{y_c * E} = 1$$

$$T = \frac{2 * H_B + h * (N_{\Pi} + N_c + 1)}{V} + K_t * (t_0 * (N_{\Pi} + N_c + 1) + t_{\Pi}) = 76.451$$

$$P = \frac{3600 * (y_{\Pi} + y_c)}{T} = 60.274$$

$$n = \frac{T}{t_H} = 1.006$$

$$K_p = \frac{A_p}{P * n} = 0.931$$

Отримані результати:

Мінімальна місткість кабіни $E = 2$

Розрахункова мінімальна швидкість кабіни ліфта $V = 0,725$ м/с

Необхідна кількість ліфтів $n = 1$

Коефіцієнт використання продуктивності ліфтів $K_p = 0,931$

Номінальна вантажопідйомність $m_B = 300$ кг

Власна маса кабіни $m_K = 500$ кг

Висота підйому $H = 14,5$ м

Номінальна швидкість $V = 1$ м/с

Розрахунок максимального навантаження на канати:

$$F_m = \left(\frac{m_K + m_B}{n} + n * q * H\right) * g \quad \text{Н}$$

де n – кількість канатів, на яких підвішена кабіна, $n = 4$; q – погонна маса 1м. каната.

Орієнтовно $q = 0,3 \dots 0,8$ кг/м.

$$F_m = \left(\frac{500 + 300}{4} + 0,8 * 14,5\right) * 9,81 = 2076 \text{ Н}$$

Розрахункове зусилля на розрив у гільці каната:

$$F_3 = K_3 * F_m = 13 * 2076 = 26988 \text{ Н}$$

де K_3 – коефіцієнт запасу міцності каната, $K_3 = 13$ обирається по табл. 1.

Таблиця 1. Значення параметрів для вибору каната ліфта

Тип лебідки	Лінійна швидкість каната на канатоведучому шківі, барабані (при номінальній швидкості руху кабіни), м/с	Коефіцієнт запасу міцності каната K_3	
		Вид ліфта	
		для транспортування людей	заборона транспортування людей
Барабан	до 0,63	9	8
3 канатоведучим шківом	до 1 включ.	12	10
	від 1 до 2 включ.	13	11
	від 2 до 4 включ.	14	12
	Більше 4	15	13

Обраний сталевий дротовий канат 6х19S-FC, діаметр – 7,5 мм, погонна маса-0,202 кг/м, розривне зусилля 29,2 кН.

Вибір основних розмірів канатоведучого шківа

Найменший допустимий діаметр канатоведучого шківа визначається за формулою:

$$D \geq e * d = 40 * 7,5 = 300 \text{ мм}$$

де d – діаметр каната, мм;

D - діаметр шківа, вимірюваний за середньою лінією каната, мм;

e - коефіцієнт, який приймається з врахуванням швидкості підйому кабіни:

Для ліфтів, в яких дозволяється транспортування людей, $e = 40$, якщо лінійна швидкість руху каната (при номінальній швидкості руху кабіни) не перевищує 1,6 м / с, і $e = 45$, якщо лінійна швидкість каната вище 1,6 м / с.

Крок канатів обирається конструктивно, виходячи з можливості розташування елементів кріплення кінців каната на кабіні та противазі. Для попереднього розрахунку приймається $t=(3...4)*d$.

Для розглянутого прикладу:

$$t = 4 * d = 4 * 7,5 = 30 \text{ мм}$$

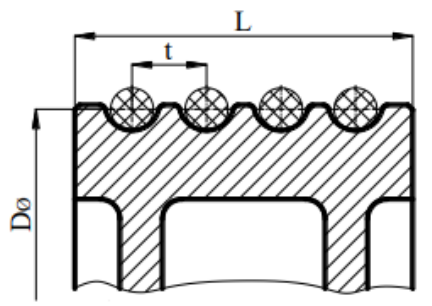


Рисунок 3 – Геометричні розміри канатоведучого шківа

Приймаємоючи $t=30$ мм, визначаємо ширину шківа:

$$L = n \times t = 4 \times 30 = 120 \text{ мм}$$

де z – кількість канатів, на яких підвішена кабіна ліфта.

4) Перевірка тягової здатності канатоведучого шківа

Мінімальний коефіцієнт запасу зчеплення каната зі лунками шківа з гладкою напівкруглою канавкою:

$$K_{\text{ц}}^{\text{гл}} = C\mu\alpha = 2,7^{0,127 \times \pi} = 1,48$$

де α – кут захоплення шківа канатом, $\alpha = \pi$ рад;

μ – наведений коефіцієнт тертя каната по жолобу шківа (визначається залежно від форми жолобу).

Приймаємо шків з напівкруглою канавкою, для якого наведений коефіцієнт тертя визначаємо за формулою:

$$\mu = \frac{4 * \mu_0}{\pi} = \frac{4 * 0,1}{3,14} = 0,127$$

де μ_0 – коефіцієнт тертя каната по жолобу, $\mu_0 = 0,1$.

Співвідношення зусиль у гілках каната для першого розрахункового випадку (підйом кабіни з вантажем з крайнього нижнього положення).

$$K_{\text{н}} = \frac{(m_{\text{к}} + m_{\text{в}} + q * H * n)(g + a)}{(m_{\text{к}} + \frac{m_{\text{в}}}{2})(g - a)}$$

$$K_{\text{н}} = \frac{(500 + 300 + 0,202 * 91 * 4)(9,81 + 0,5)}{(\frac{300}{2} + 500)(9,81 - 0,5)} = 1,488$$

де a – середнє розрахункове прискорення, $a = 0,5$ м/с².

Так як $K_{\text{н}} > K_{\text{ц}}^{\text{гл}}$, напівкругла гладка канавка шківа не забезпечує достатнього зчеплення каната зі шківом. Тому, профіль канавки на канатоведучому шківі заміняємо на напівкруглу з підрізом, рис. 4.

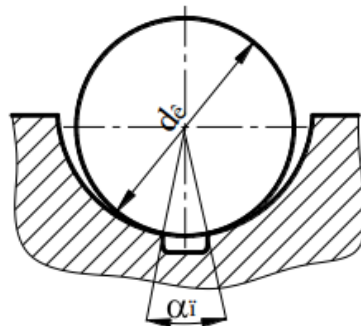


Рисунок 4 – Розрахункова схема до визначення коефіцієнта тертя μ_0

Приймаємо $\alpha_{\text{п}}=45^\circ$ та визначаємо значення наведеного коефіцієнта тертя каната по жолобу шківа.

$$\mu = 4 * \mu_0 * \frac{1 - \sin \frac{\alpha_{\text{п}}}{2}}{\pi - \sin \alpha_{\text{п}}} = 4 * 0,1 * \frac{1 - 0,382}{\pi - \pi/4 - 0,707} = 0,15$$

Мінімальне значення коефіцієнту запасу зчеплення каната зі шківом, що має напівкруглі канавки з підрізом $\alpha_{\text{п}}=45^\circ$,

$$k_{\text{ц}}^{\text{н}} = 2,7^{0,15 * \pi} = 1,62$$

Співвідношення зусиль у гілках каната для другого розрахункового випадку (опускання порожньої кабіни верхнього положення):

$$K_B = \frac{(m_k + \frac{m_b}{2} + q * H * n)(g + a)}{m_k(g - a)}$$

$$K_B = \frac{(\frac{300}{2} + 500 + 0.202 * 91 * 4)(9,81 + 0,5)}{500 * (9,81 - 0,5)} = 1,602$$

Оскільки $K_B > K_{цн}^n$, тягова здатність приводу буде забезпечена.

5) Розрахунок потужності та вибір електродвигуна

Необхідна потужність електродвигуна:

$$P_1 = \frac{(F_{1окр} + W_{тер1} + W_{тер2}) * V}{10^3 * \eta_{мех}}$$

$$P_1 = \frac{(1586,43 + 178,54 + 111,02) * 1}{10^3 * 0,97} = 1,93 \text{ кВт}$$

де $\eta_{мех}$ – ККД приводу з зубчатою передачею, де $\eta_{мех} = 0,97$,

$F_{1окр}$ – окружне зусилля від натягу у гілках канатів

$$F_{1окр} = ((m_k + m_b + q * H * n) - (m_k + 0,5m_b)) * g$$

$$F_{1окр} = ((500 + 300 + 0,202 * 14,5 * 4) - ((500 + 0,5 * 300))) * 9,81 = 1586,43 \text{ Н}$$

$W_{тер1}$ – опір від сил тертя кабіни з вантажем розташованим не по центру кабіни, відносно направляючих визначаємо за виразом

$$W_{тер1} = \frac{\mu_1 * m_b(A + B) * g}{3H}, \text{ Н}$$

$$W_{тер1} = \frac{0,12 * 300 * (2,1 + 1,54) * 9,81}{3 * 2,4} = 178,54 \text{ Н}$$

де А, В – глибина й ширина кабіни, м. Розміри А і В приймаються конструктивно, виходячи з площі підлоги кабіни. Орієнтовно співвідношення А/В=1,2...1,4; Н – різниця рівнів установки башмаків, Н=2,2...2,4м;

$W_{тер2}$ – опір від перегину каната і сил тертя каната по шківу, тертя в опорах підшипників.

$$W_{тер2} = 0,01((m_k + m_b + q * H * n) + (0,4(Q_H + m_k))) * g$$

$$W_{тер2} = 0,01((500 + 300 + 0,202 * 14,5 * 4) + (0,4 * (500 + 300))) * 9,81 = 111,02 \text{ Н}$$

Використовуючи зазначені вище розраховані параметри та рекомендації щодо вибору приводу обрано лебідку типу ЛЛ-0401, що задовільняє необхідні параметри.

Тип лебідки: ЛЛ-0401

Номінальна швидкість: 1,0 м/с

Діаметр шківів 770 мм

Номінальна потужність: 5(4,5) кВт

Номінальна швидкість обертів: 1000/250 об/хв

Висновок. При проведенні розрахунків установки виявлено, що технологічні рішення, які застосовуються у сучасних ліфтах не ідеальні, отже їх можна модернізувати, що дозволить

збільшити ККД транспортування, зменшити витрати електроенергії, спростити обслуговування. Промисловість України має змогу виготовляти всі компоненти ліфтових установок, проте, для конкурентноспроможності необхідні нові, більш ефективні технології.

Перелік посилань:

1. Будинки і споруди ГРОМАДСЬКІ БУДИНКИ ТА СПОРУДИ Основні положення ДБН В.2.2-9-2009
2. The Vertical Transportation Handbook, Fourth Edition Edited by George R. Strakosch and Robert S. Caporale
3. Технические характеристики лифтовых приводных двухскоростных асинхронных короткозамкнутых электродвигателей
<https://mash-xxl.info/page/025174149105098223218080236110251093191085252051/>
4. Лобов Н.А. Пассажирские лифты. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999
5. Чиликин М. Г. Основы автоматизированного электропривода / М. Г. Чиликин, М. М. Соколов, В. М. Терехов и др. – М. : Энергия, 1974. – 568 с.
6. ДБН В.2.5-23:2010 Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення.
7. А.В.Башарин, Ф.Н.Голубев, В.Г. Кепперман Примеры расчетов автоматизированного электропривода

УДК62-505

В.В. Луняка

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

АВТОМАТИЗОВАНА МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РОБОТОЮ ТЕПЛОВОЇ ЗАВІСИ

***Анотація.** У даній роботі розглядається один з способів автоматизації потоком повітря теплової завіси. Запропоноване використання мікропроцесорної системи керування на базі контролера Arduino Uno. Розглянуто особливості такої системи керування, електричну схему, що забезпечує надійну і безперервну роботу. Також вибрані основні компоненти принципової електричної схеми, виходячи з напруг і допустимого нагріву. Заключним етапом роботи є визначення техніко – економічних показників запропонованої системи керування та надано рекомендації щодо подальшого розвитку даного обладнання та способу керування нагрівом.*

***Ключові слова:** тепла завіса, автоматизація управління, Arduino.*

***Abstract.** This paper considers one of the ways to automate the air flow of the thermal curtain. The use of a microprocessor control system based on the Arduino Uno controller is proposed. Features of such control system, the electric scheme providing reliable and uninterrupted work are considered. The main components of the basic electrical circuit are also selected, based on voltages and allowable heating. The final stage of work is to determine the technical and economic indicators of the proposed control system and provide recommendations for further development of this equipment and method of heating control.*

***Key words:** air door, control automation, Arduino.*

Вступ. Повітряні завіси є ідеальним рішенням для підтримки та збереження комфортних умов внутрішнього клімату в громадських будівлях, в торгових і промислових приміщеннях, які тримають свої двері відкритими. Повітряні завіси, їх ще називають «Теплові повітряні завіси», покликані вирішити ряд дуже важливих питань, які на перший погляд можуть звичайному мешканцеві здатися не суттєвими.

Повітряні завіси створюють невидимий бар'єр повітряного потоку - він покликаний ефективно розділяти внутрішнє середовище приміщення від зовнішнього, за умови правильного підбору. Якщо була правильно підібрана повітряна завіса то це дозволить тримати двері відкритими так, як невидимий бар'єр з повітряного потоку не дозволить проникнути в приміщення поривам вітру, холодного / гарячому повітрю, комах, пилу, неприємних запахів, диму тощо. Використання повітряних завіс, істотно знижує витрати на нагрівання та охолодження повітря в приміщенні (до 80%) так, як втрати внутрішнього середовища приміщення мінімальні, що дозволяє не тільки зменшити витрати, а також збільшити комфорт клієнтів і службовців в приміщенні.

Мета та завдання: розробити систему автоматизації управління процесами повітряної завіси що забезпечить регулювання температури потоку повітря і буде враховувати температуру зовнішнього середовища.

Матеріал і результати досліджень. Об'єктом дослідження є повітряна завіса Neoclima ТЗС-508, яка має такі характеристики: потужність 2,2 / 5,0 кВт (без нагріву / з нагрівом), продуктивність 470 м³ / год, швидкість потоку 6,5 м / с, нагрівальний елемент СТІЧ (що має майже миттєвий час нагрівання). Для керування повітряною завісою було вибрано контролер Arduino Uno за його дуже широкий спектр застосування, гнучкість в налаштуванні та відносно низьку ціну. Серед своїх «родичів» контролерів Arduino цей контролер має найбільш вигідне співвідношення ціни та функціональності. Він буде виконувати роботу по збору та аналізу даних з датчиків та контролю вмикання нагрівача та двигуна.

Після виконаної роботи з розробки схеми, розрахунку та вибору апаратури системи управління вийшов такий результат:

2. Датчик руху Crow Swan-Quad також має багато аналогів, наприклад "Alfa", "Eldes", "Tecsar". Він теж був вибраний через низьку вартість.

3. Автоматичний вимикач Schneider Electric С EZ9. Сьогодні існує багато моделей автоматичних вимикачів. Цей вимикач має велику надійність та невисоку ціну. Він призначений для регулювання сили струму, а саме не давати їй підвищитися вище ніж задано, це захищає прилади, які встановлені в схемі управління, а також саму теплову завісу.

4. Оповіщувач світлозвуковий внутрішній "Дует" С-03С – сирена це невід'ємний елемент на всіх лініях виробництва, людина не завжди може помітити світову сигналізацію, а почути можливо майже всюди.

5. Датчики температури – найбільш адаптованими датчиками температури для контролеру Arduino вважаються датчики DS18. Серед різноманітних варіацій цього типу датчиків було вибрано DS18B20, через те що він дешевший за інші.

6. Трансформатор напруги VITO VT 450 (220В/12В/60W), який містить в собі також стабілізатор, має низьку ціну та високу надійність, завдяки чому і був обраний.

7. Оптосимістори для замикання кіл на двигун та нагрівач теплової завіси були вибрані МОС3021, завдяки дуже низькій ціні, довгому терміну роботи та доступності

8. Резистори для обмеження струму на оптосимістори розраховуються за формулою:

$$R = (U_{ж} - 1,8) / I_f$$

Де $U_{ж} = 5\text{В}$ (напруга з джерела Arduino), $I_f = 0,075\text{А}$ (струм спрацювання)

Необхідно зробити $I_f = 80\text{ мА}$ з урахуванням зниження ефективності світіння світлодіода протягом терміну роботи (додати 5 мА) отримуємо:

$$R = (5 - 1,8) / 0,08 = 40\text{ Ом}, \text{ таких немає вибрано найближчий } 39\text{ Ом}.$$

Далі розрахунок потужності резистора:

$$P_R = \frac{U^2}{R} = \frac{3,2^2}{150} = \frac{10,24}{150} = 0,26\text{Вт}$$

Вибрана найближча більша потужність 0,5Вт.

9. Транзистори для вмикання оптосимісторів були розраховані за струмом колектору, напругою живлення та опором навантаження:

$$I_k = \frac{U_{ж}}{R} = \frac{3,2}{39} = 0,082\text{ А}$$

На практиці з міркувань надійності елементи завжди необхідно вибирати з запасом.

Візьмемо коефіцієнт 1.5. Таким чином, потрібен транзистор з допустимим струмом колектора не менше 0.123 А, і максимальною напругою колектор-емітер не менше $1,5 * 5 = 7$

В.За розрахованими параметрами найкраще відповідає транзистор КТ503А ($I_{кмакс} = 0,15A$
 $U_{ке} = 40V$)

З вказаного вище було розроблено електрично-принципову схему, що зображена на рис 1.

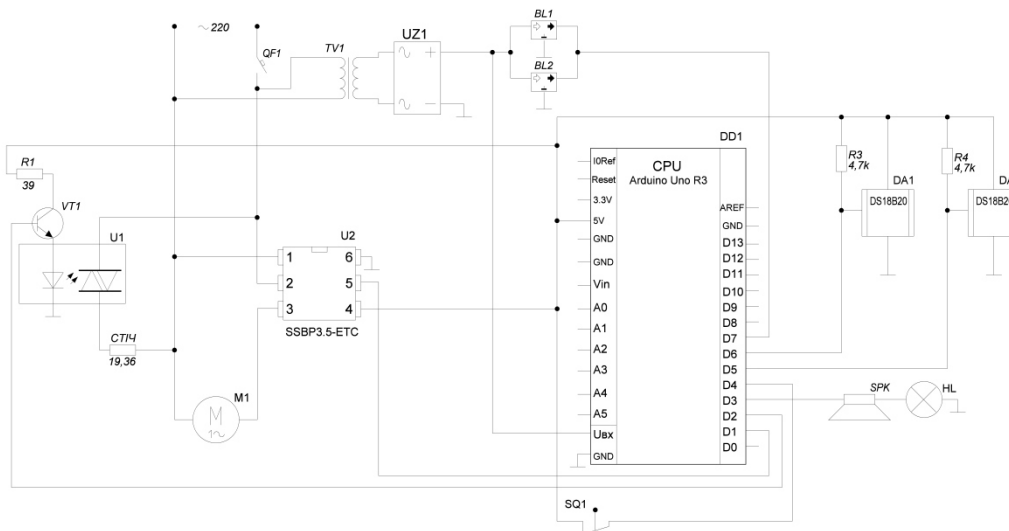


Рисунок 1 - Схема електрична принципова автоматизованої системи

Таким чином повітряна завіса буде працювати меншу кількість часу, завдяки чому зменшиться споживана електроенергія, і як наслідок затрати на її використання. Короткий розрахунок наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – техніко-економічні показники

Назва показника	Значення	
	Аналог	Розроблена система
Тип керування	Ручний	автоматичний
Кількість контрольованих параметрів	1	2
Споживана потужність	5	5,2
Загальний річний розмір економії, грн. в т.ч. :		15059,54
на енергоспоживанні		15059,54
Розмір додаткових капітальних вкладень, грн.		14728,52
Термін окупності додаткових капітальних вкладень, місяців		12
Коефіцієнт економічної ефективності		1,02

Висновки.

1. В результаті виконаної роботи було створено систему автоматизації теплової завіси Neoclima ТЗС-508 на основі контролера Arduino Uno R3 з можливістю простого програмування за допомогою відповідного програмного забезпечення Arduino IDE.

2. При розрахунку економічної ефективності реалізації системи автоматизації термін окупності автоматизованої системи становить 12 місяців при коефіцієнті економічної ефективності 1,02 та собівартості в 14728,52 грн.

УДК62-505

Дженчако Д.К.

Кафедра автоматизації електротехнічних і мехатронних комплексів

ПРОГРАМНЕ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ПЕРЕМІЩЕННЯ МЕХАНІЗМУ РІЗУ ГОФРОВАНОГО КАРТОНУ З ВИКОРИСТАННЯМ МОВИ ОРІЄНТОВАНОГО ПРОГРАМУВАННЯ C++

В даний момент часу більшість виробництв є автоматизованими системами управління, які включають в себе необхідні агрегати і машини, системи автоматичного контролю та захисту, дистанційного і телемеханічного управління, системи автоматичного регулювання та керування у виробництві, та які потребують чіткого контролю в виробництві гофро-тари. Виробництво гофротари найбільш відповідальний етап виробництва картону.

В даній статті головним завданням є розробити систему автоматизації різку гофрованого картону. Для плавності керування переміщенням синхронного серводвигуна із поєднанням його з контролером був реалізований задатчик другого порядку. Для контролера було розроблено алгоритм реалізованого задачника на мові програмування C++.

Ключові слова: програмне керування, позиційний електропривод, гофрований картон, мова програмування, задатчик другого порядку

At present, most industries are automated control systems, which include the necessary units and machines, automatic control and protection systems, remote and telemechanical control, automatic control and management systems in production, and which require clear control in the production of corrugated packaging. The production of corrugated packaging is the most responsible stage of cardboard production.

In this article, the main task is to develop a system for automating the cutting of corrugated cardboard. For smooth control of the movement of the synchronous servomotor with its combination with the controller, a second-order unit was implemented. An algorithm for the implemented problem in the C ++ programming language was developed for the controller.

Keywords: program control, position electric drive, corrugated cardboard, programming language, second order unit

Вступ. Ефективна реалізація сучасних виробництв вимагає оснащення їх системами контролю і оперативного управління, що забезпечують отримання продукції заданої якості, зниження її собівартості, контроль екологічної ситуації, комфортні умови праці для обслуговуючого персоналу. Виробництво гофротари найбільш відповідальний етап виробництва картону. В дані статті головним завданням є розробити систему програмного керування для автоматизації системи різку гофрованого картону. В якості виконавчого механізму використовується сервопривод із синхронним двигуном, що керується від програмованого логічного контролера за допомогою цифрового інтерфейсу зв'язку. В той же час, для запропонованого контролера немає готових бібліотек для формування завдання від задачника інтенсивності другого порядку, а тільки першого. Тому, задача розробки програми

реалізації задатчика інтенсивності другого порядку на мові програмування C++ а також перевірки його працездатності із сервоприводом є актуальною задачею..

Мета дослідження. Розробити алгоритм формування задатчика інтенсивності другого порядку для реалізації на базі програмованого логічного контролера.

Матеріали та результати досліджень. Для дослідження сервоприводу використовувалась математична модель електропривода переміщення, реалізована в MATLAB та його додатку Simulink. Запропонована модель має вигляд, представлений на рис.1.

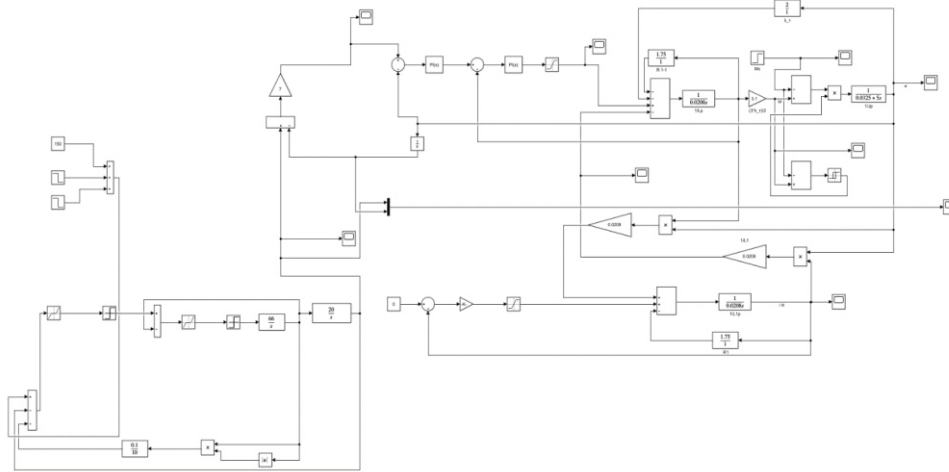


Рисунок 1 - Побудована структурна схема в додатку Simulink

Шляхом здійснення цифрового моделювання з використанням програмного задачника інтенсивності були отримані плавно перехідні процеси. Графіки завдання положення та його поточного значення можна спостерігати на рис.2.

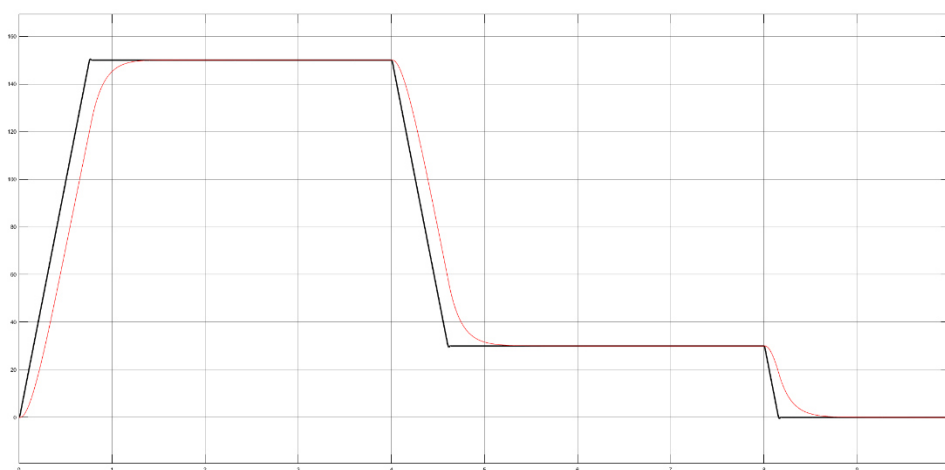


Рисунок 2 – Вихідний сигнал задачника інтенсивності та сигнал поточного положення привода.

Програмна реалізація задатчику другого порядку здійснена з мови програмування C++, що формує сигнал завдання і передає в блок завдання положення. Лістинг програми представлений в наступній формі.

```

#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;
double fun(double x) // В даній строчці коду задана функція x для інтегралу
{
    return x;}
double sumIntegral(double lowBound, int n, double dx) // опис першого інтегратора
{
    double cumSum = 0;
    for (int i = 0; i < n; i++) // В даному місці задано цикл в якому при умові що i < n будет
збільшуватись i поки не стане більше n (значень обраховує інтеграл)
{
    double xi = lowBound + i * dx;
    double funValue = fun(xi);
    double rectangleArea = funValue * dx;
    cumSum += 66 * rectangleArea;}
    return cumSum;}
double sumIntegral_1(double lowBound, int n, double dx) // Опис друго інтегратора
{
    double cumSum_1 = 0;
    for (int i = 0; i < n; i++) {
        double xi_1 = lowBound + i * dx;
        double funValue = fun(xi_1);
        double rectangleArea_1 = funValue * dx;
        cumSum_1 += 20 * rectangleArea_1;}
    return cumSum_1;}
int main()
{
    int x_1, x1, x2, sum_1, sum_2, x3, integrator_1;
    double lowBound; // нижня границя інтеграла
    double upBound; // верхня границя інтеграла
    int n; // Кількість значень які обраховує інтеграл
    x1 = 0; x2 = 0;x3 = 0;
    cout << "Input x: " << endl; // вводимо перший сигнал що входить на суматор
    cin >> x_1; // вводимо с клавиатури перший сигнал на суматор
    cout << "Input two number 1st lowBound 2nd upBound and n - count " << endl; // Виводимо
повідомлення з проханням ввести два числа нижню и верхню межу інтегралу
    cin >> lowBound >> upBound >> n; // ввід с клавиатури
    sum_1 = x_1 - x1 - x2; // Перший суматор через який проходить сигнал
    if (sum_1 < 0) // Функція SIGN sum_1 < 0 при даній умові значення яке виходить з
sum_1 суматора буде проходить перевірку, якщо sum_1 < 0 то число набуває знак (-) .
    {
        sum_1 = (-1)*sum_1; }
    else if (sum_1 > 0) // Якщо sum_1 > 0 то число = число мається на увазі що число буде
рівне собі і на виході буде теж саме число.
    {
        sum_1 = sum_1; }
    else if (sum_1 = 0) //Якщо число sum_1 = 0 то число будет мати значення 0
    {
        sum_1 = 0; }
    sum_2 = sum_1 - x3; // Проходить через другий суматор sum_1
    if (sum_2 < 0) // В даному випадку усе що і було в випадку if (sum_1 < 0)
    {
        sum_2 = (-1)*sum_2; }
    else if (sum_2 > 0)
    {
        sum_2 = sum_2; }
    else if (sum_2 = 0)
    {
        sum_2 = 0; }
    double Sumator_2 = sum_2; // В данному пункті створюю нову змінну

```



```
double dx = (double)(upBound - lowBound) / n;  
double result = sumIntegral(lowBound, n, dx); // Визивається вище описана змінна в  
результаті якої cumSum += 66 * rectangleArea;  
double result_1 = result * sum_2; // в цьому рядку ми проводимо сигнал який вийшов з  
останнього Суматора через перший інтегратор  
double result_1_modul = fabs(result_1); // в даній функції беремо число по модулю  
double multiple = (result_1_modul * result_1) * (0.1 / 10); // множимо сигнал що вийшов з  
першого інтегратора на модуль числа і множимо на блок 0.1 / 10  
double result_1_1 = sumIntegral_1(lowBound, n, dx); // викликаємо функцію інтеграла  
cumSum_1 += 20 * rectangleArea_1;  
double result_2_1 = result_1_1 * result_1; // Сигнал який вийшов з першого інтегратора  
проводимо через другий ін-тегратор  
double sum_1_1 = sum_1 - multiple - result_2_1; // Відповідно зворотній зв'язок який  
приходить на перший суматор  
cout << sum_1_1; // виводжу число яке отримав за перший прохід по задатчику другого  
порядку  
return 0; // при успішному виконання коду програма поверне 0 що дає зрозуміти що  
програма працює}
```

Висновок.

1. Запропонована система програмного керування переміщенням забезпечує плавне формування вихідного сигналу, що в повній мірі відпрацьовується електроприводом.
2. Використання даного способу формування переміщення дозволяє використовувати її в швидкодіючих програмних логічних контролерах.

УДК 621.316

Барсукова К.І.

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ТРЕКЕРА УПРАВЛІННЯ

Анотація: Стаття присвячена оцінці ефективності генерації сонячних панелей з використанням трекера управління. Виконано розрахунки сонячної електростанції, зроблено вибір обладнання. Показано, що використання трекерного управління дозволяє збільшити ККД фотоелектричних систем та знизити вартість виробленої електроенергії.

Ключові слова: сонячні панелі, трекерна система, сонячна енергетика.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF A SOLAR POWER PLANT USING THE CONTROL TRACKER

Abstract: The article is devoted to the evaluation of the efficiency of solar panel generation using a control tracker. Calculations of the solar power plant are made, the choice of the equipment is made. It is shown that the use of tracker control allows to increase the efficiency of photovoltaic systems and reduce the cost of electricity generated.

Key words: solar panels, tracker system, solar energy.

Вступ

Актуальність сонячної енергетики все зростає за рахунок таких її переваг як ресурсомісткість, відтворюваність, відсутність шкідливих відходів при переробці, безшумність та інші. Однак, вона має і свої недоліки, серед яких є залежність генерації від добового і сезонного ритму інсоляції, а також, необхідність великих площ для будівництва сонячних електростанцій. Не дивлячись на це, широко використовується як основне джерело альтернативної енергії. Енергоефективність і ККД фотоелектричних установок досі залишається на відносно невисокому рівні, тому слід розглядати можливі варіанти автоматизації для їх підвищення і збільшення генерації електроенергії.

Мета та завдання. Розрахувати сонячну електросистему з виконанням точного наведення панелей на Сонце за рахунок трекерного управління, визначити її ефективність та порівняльні показники, також виконати розрахунок потужності інвертора та контролера заряду-розряду.

Матеріал та результати досліджень. Територіальний розподіл встановлених відновлюваних джерел енергії певним чином залежить від рівня інсоляції того чи іншого регіону, тому, в більшості випадків, вони зосереджені в регіонах з високою сонячною активністю, таких як південна та східна частина України [3].

Так як ефективність сонячної електростанції значним чином залежить від параметрів їх основних елементів та самої конструкції електростанції, останнім часом збільшилась кількість розробок направлених на застосування додаткових пристроїв в конструкціях сонячних електростанцій для більш ефективного використання сонячної енергії. Одним з видів таких

розробок є відстеження кута падіння сонячних променів на поверхню сонячної панелі та регулювання положення панелей на основі отриманих даних. Також, крім фізичних методів, існують й інші, пов'язані, наприклад, з відслідковуванням рівня максимальної потужності, що передається.

Напруга холостого ходу одного елемента сонячної панелі складає приблизно 0,6 В і розмір елементів на неї не впливає. Струм елементів пропорційно залежить від їх площі та інтенсивності світла.

Великий вплив на ефективність роботи сонячних панелей має температура сонячних елементів, нормоване значення якої складає 25°C. При перевищенні цієї норми елемент втрачає близько 0,4% напруги за кожен градус понад нормою. В сонячні дні елементи нагріваються до 60-70 °С, тому втрачають до 0,09 В, через що ККД всієї установки знижується.

В стандартних моделях представлених на ринку ККД сонячних елементів досягає 10÷16%, тобто елемент розміром (10×10) см генерує приблизно 1÷1,6 Вт потужності за оптимальних умов.

Запропонована фотоелектрична система забезпечує живлення вентиляторної установки змінною напругою за допомогою інвертора. На рис. 1 зображена схема фотоелектричної системи (ФЕС).



Рисунок 1 – Типова схема роботи ФЕС

Загалом, всі автономні сонячні електричні станції класифікуються за навантаженням та напругою інвертора. За такою класифікацією, для сонячних електричних станцій, що виробляють менше ніж 1000-1500 Вт·год на добу, доцільно використовувати напругу 12 В, для сонячних електростанцій (СЕС), які виробляють 1÷3 кВт·год на добу використовують напругу 24 В, а якщо СЕС виробляє більше 3 кВт·год на добу, то використовується напруга 48 В та вище[1].

Для живлення вентиляторної установки з двигуном потужністю $P_{дв}=0,55$ кВт споживана потужність P_H складає:

$$P_H = P_{дв} / \eta = 0,55 / 0,71 = 0,775 \text{ кВт.}$$

Вентиляторна установка живиться від сонячної електростанції одну зміну, тоді, споживання енергії $W_{н доб}$ добу буде дорівнювати:

$$W_{н доб} = P_H \cdot t_{роб} = 0,775 \cdot 8 = 6,040 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Таким чином, одним з найважливіших розрахунків являється розрахунок необхідної кількості сонячних панелей для СЕС. При розрахунках необхідно враховувати такі фактори як середньорічна сонячна радіація та її середньомісячне значення у найгірших умовах.

Для розрахунку значення енергії W на один модуль потужністю P_w у період обраного часу при інтенсивності сонячного випромінювання 1000 Вт/м^2 використовуємо вираз:

$$W = \frac{k \cdot P_W \cdot E}{1000}, \text{ Вт} \cdot \text{ год}; \quad (1)$$

де E – значення інсоляції за обраний період; k – коефіцієнт, який враховує нагрів сонячних панелей і кут падіння променів протягом дня. $k = 0,5$ в літній та $k = 0,7$ в зимовий періоди.

Так як вважається, що будівля, для якої проводиться розрахунок, розміщення в Житомирській області і живлення від панелей буде використовуватись в літній період, значення інсоляції, відповідно до виразу (1) буде дорівнювати $E = 4,66$ кВт·год/доб. [2].

Кількість модулів для СЕС складає

$$n = \frac{W_{\text{н доб}}}{W}, \text{ шт}; \quad (2).$$

Вибираємо сонячну панель TrinaSolar TSM-DE17M з номінальною потужністю $P_W = 450$ Вт. Загальні параметри даної панелі наведені в табл. 1 [3].

Таблиця 1 – Параметри сонячної панелі TrinaSolar TSM-DE17M

Параметри TrinaSolar TSM-DE17M	
Тип панелі	монокристалічна
Розміри	2102x1040 см
Матеріал модуля	кремній
Напруга	24 В
Потужність	450 Вт
Струм при максимальній потужності	10,98 А
Напруга при максимальній потужності	41 В
Струм КЗ	11,53 А
Напруга ХХ	49,6 В
Кількість елементів	144 шт.
Мінімальна робоча температура	-40° С
Максимальна робоча температура	85° С
Ступінь захисту	68
ККД (не менше ніж)	20,6%
Вага	24 кг

Розраховуємо значення енергії W за виразом (1), яку буде виробляти за добу в серпні сонячна панель TrinaSolar TSM-DE17M:

$$W = \frac{k \cdot P_W \cdot E}{1000} = \frac{0,5 \cdot 450 \cdot 4660}{1000} = 1048,5 \text{ Вт} \cdot \text{ год};$$

Далі визначимо необхідну кількість сонячних панелей за виразом (2):

$$n = \frac{W_{\text{н доб}}}{W} = \frac{6040}{1048,55} = 5,76 = 6 \text{ шт};$$

Для забезпечення необхідної вихідної напруги і потужності, з'єднуємо панелі по дві послідовно, а далі одержані групи по три паралельно. Таке з'єднання забезпечує вихідну напругу $U_{\text{сп}} = 48$ В.

Для стабільної роботи електроприводу вентиляторної установкинєобхідно зробити вибір акумуляторної батареї для СЕС, ємність загальна $C_{\text{спож}}$ визначаємо за виразом:

$$C_{\text{спож}} = \frac{W_{\text{н доб}}}{U_{\text{н дв}}} = \frac{6040}{400} = 15,1 \text{ А} \cdot \text{год};$$

де-

Враховуючи, що розряд акумуляторної батареї, як правило, допускається до половини її ємності, розраховуємо необхідну номінальну ємність $C_{\text{н}}$ батарей:

$$C_{\text{н}} = C_{\text{спож}} \cdot \frac{100\%}{50\%} = 15,1 \cdot \frac{100\%}{50\%} = 30,2 \text{ А} \cdot \text{год};$$

По аналогії з сонячними панелями, акумуляторна батарея СЕС з ємністю $C_{\text{н}}$ набирається з окремих акумуляторних батарей меншої ємності, які з'єднуються послідовного та паралельного між собою.

Обираємо акумуляторну батарею типу SacredSunLi-power 48-50 з номінальною напругою $U_{\text{аб}} = 48 \text{ В}$ і ємністю $C_{\text{аб}} = 50 \text{ А} \cdot \text{год}$.

Кількість послідовно увімкнених одинарних акумуляторних батарей у гілці:

$$n = \frac{U_{\text{н}}}{U_{\text{аб}}} = \frac{48}{48} = 1 \text{ шт};$$

Для стабільної роботи приймаємо ємність $250 \text{ А} \cdot \text{год}$. Кількість паралельних гілок m у акумуляторної батареї в складі СЕС складає:

$$m = \frac{C_{\text{н}}}{C_{\text{аб}}} = \frac{250}{50} = 5 \text{ шт};$$

Загальна необхідна кількість N акумуляторних батарей:

$$N = m \cdot n = 5 \cdot 1 = 5 \text{ шт}.$$

Отже, підключивши паралельно 5 таких батарей, загальна напруга батареї буде $U_{\text{загаб}} = 48 \text{ В}$ і загальна ємність $C_{\text{загаб}} = 250 \text{ А} \cdot \text{год}$.

Час t роботи вентиляторної установки в похмуру погоду від інвертора при половинному розряді акумуляторної батареї складає:

$$t = \frac{0,5 C_{\text{загаб}} \cdot U_{\text{загаб}}}{P_{\text{н}}} = \frac{0,5 \cdot 250 \cdot 48}{755} = 7,95 \text{ год};$$

Можемо зробити висновок, що обрана ємність достатня для стабільної роботи приводу в погані погодні умови.

Для розрахунку інвертора використовуємо коефіцієнт запасу $k_z = 1,3$ ми отримаємо необхідну мінімальну потужність – $1007,5 \text{ Вт}$.

Обираємо трифазний інвертор типу MultiPlus 48/9 – 380, параметри якого наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Параметри трифазного інвертора MultiPlus 48/9 – 400В

Параметри	
Вхідна напруга	38-66 В
Вихідна напруга	380 - 400В $\pm 2\%$
Форма вихідної напруги	синусоїда
Потужність	7200 Вт
Максимальна потужність	22500 Вт
ККД	94 %

Для автоматизації СЕС подвокоординатній системі наведення сонячних панелей на сонце за рахунок встановлення трекера, який забезпечує добове відслідковування положення Сонця та орієнтацію панелей на область неба з максимальною яскравістю, рис. 2.

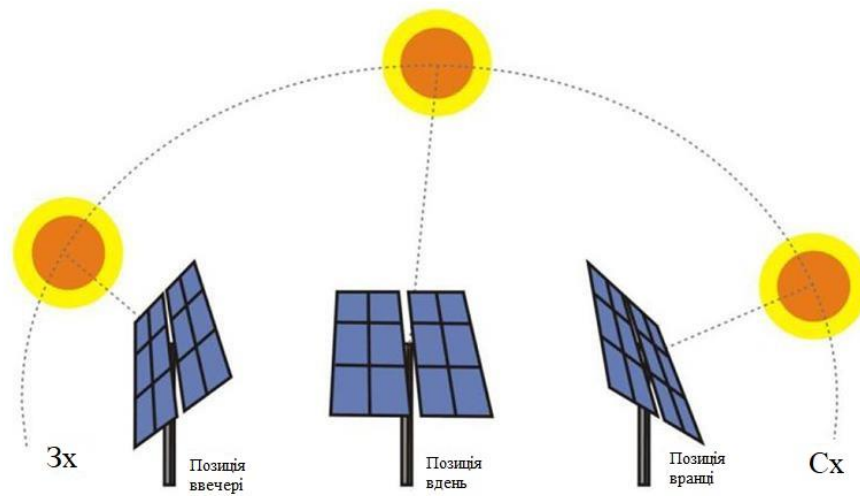


Рисунок 2 – Загальна схема наведення сонячних панелей на сонце

Для досягнення максимальної генерації електричної енергії, освітленість сонячної батареї повинна бути максимальною, а втрати через відзеркалення - мінімальними. Щоденний кут зміни положення Сонця складає близько 150 градусів. Нерухома панель, розміщена точно на південь, втрачає до 75% видобутку в ранкові і вечірні години. Цю енергію можна зібрати, встановивши панелі на пристрої відслідковування. Якщо, додатково, врахувати сезонну зміну висоти Сонця, то можна виграти ще 8,3% в порівнянні з фіксованим оптимальним кутом нахилу[4].

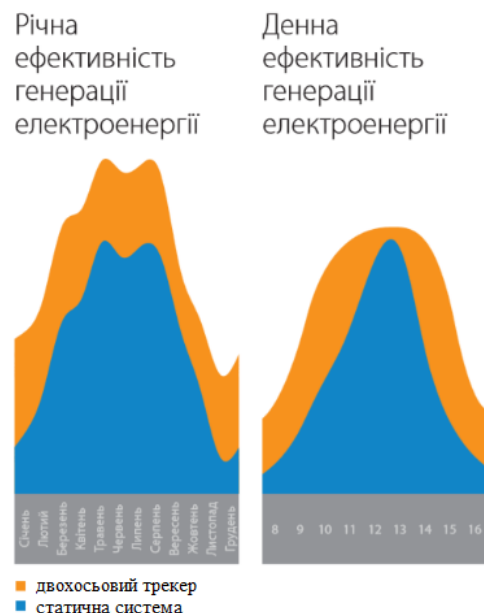


Рисунок 3 – Графіки ефективності генерації електроенергії з двоохосьовим трекером в порівнянні з статичною системою

Системи трекерного управління складаються з електромеханічних приводів, блока управління і програмного забезпечення. Датчик сонячної іррадіації, по певному алгоритму,

сканує небо, знаходить найбільш енергонасичену область і передає координати системі управління трекером.

В випадку сильних вітрових навантажень, система переводить площину фотопанелей в положення флюгування (найменший опір повітряному потоку).

На рис.4 приведено графік залежності втрат енергії сонячним модулем при відхиленні кута від оптимального.

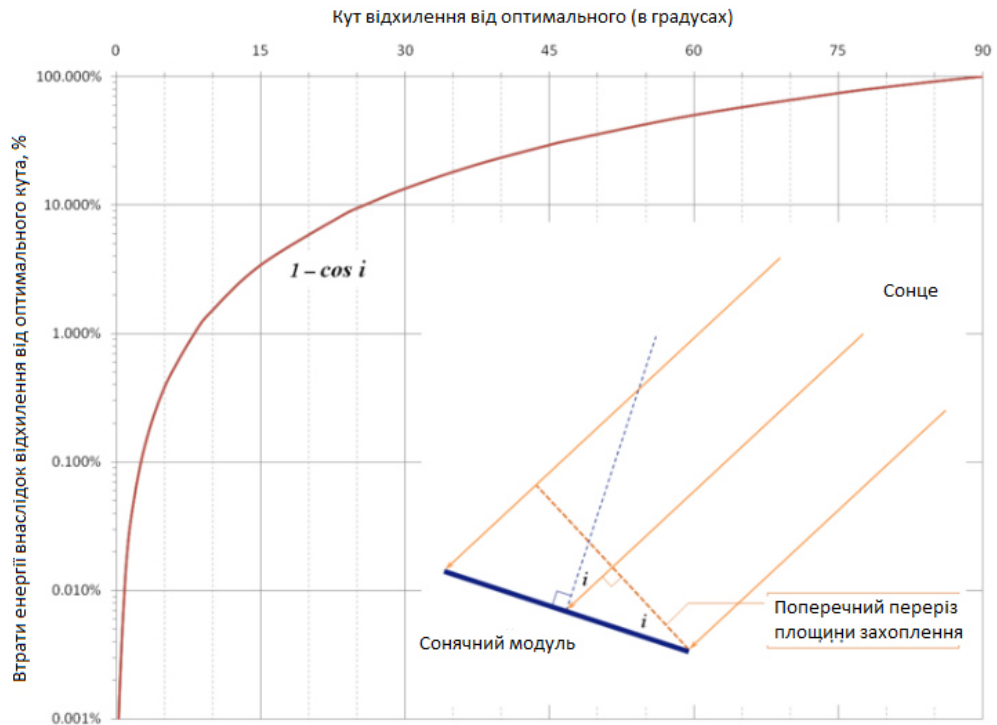


Рисунок 4 – Графік залежності втрати енергії сонячним модулем від відхилення кута від оптимального

Для вибраного сонячного трекера двохосьового типу AS Sunflower 20 технічні дані наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Параметри сонячного трекера AS Sunflower 20

Номінальна встановлена потужність, кВт	5,4
Максимальна площа розміщених модулів, м ²	32,7
Максимальні розміри розміщення модулів(ширина x висота), м	6,6 x 5,0
Азимут кута обертання	±120°
Зенітний кут обертання	0° - 70°
Висота колони(мін./макс.), м	2,18/4,28

Приблизні показники щорічного власного споживання, кВт год/рік	20
Робоча напруга	100-260 В змінного струму, 50-60 Гц
Робоча потужність двигунів	100 Вт
Алгоритм роботи	за астрономічним календарем або по датчику

Активна система управління складається з комплексного датчика сонячної інсоляції і блоку управління трекером. Датчик знаходить точку максимальної потужності сонячної енергії, враховуючи розсіяне і відбите світло. Датчик сонячної інсоляції передає сигнал на блок управління за допомогою бездротової технології і потім встановлює трекер в оптимальне положення.

Сонячний трекер Sunflower 20 являє собою рухливу кріпильну систему для фотоелектричних панелей. Пристрій відноситься до двовісного типу динамічних конструкцій. Він дозволяє використовувати світлову енергію максимально ефективно, виробляти електроенергії на 30-40% більше.

Враховуючи розраховану добову кількість енергії в серпні для обраної сонячної панелі TrinaSolar TSM-DE17M, а саме $W = 1050,75 \text{ Вт} \cdot \text{год}$, і кількості сонячних панелей $n = 6$, розраховуємо значення $W_{\text{заг стат}}$ генерації електроенергії СЕС в статичному стані та з двохосьовим трекером $W_{\text{заг з трекером}}$:

$$W_{\text{заг стат}} = W \cdot n = 1050,75 \cdot 6 = 6304,5 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$W_{\text{заг з трекером}} = 1,35 \cdot W \cdot n = 1,35 \cdot 1050,75 \cdot 6 = 8511,075 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

По результатах розрахунків при використанні трекерного управління збільшується генерації електроенергії СЕС на 2 кВт•год за добу, тобто на 35%.

На рис. 5 зображена функціональна схема двокоординатної системи наведення сонячних панелей, на якій зроблені позначення: KB1÷KB4 – кінцеві вимикачі, ДПС1, ДПС2 – датчики положення Сонця.

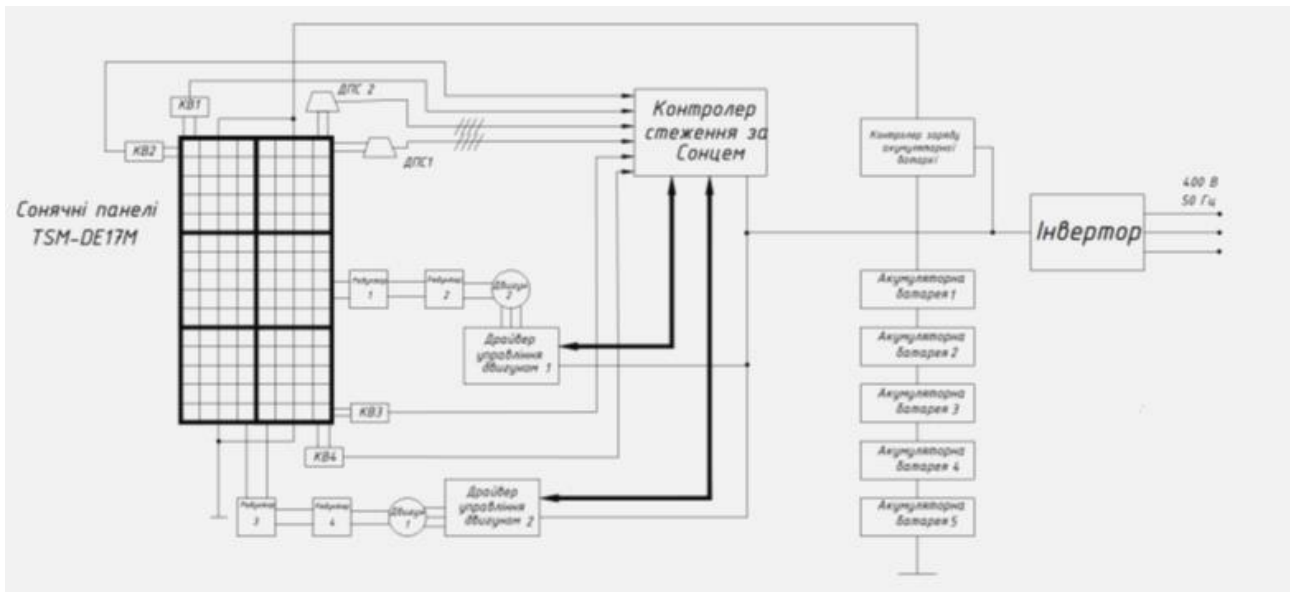


Рисунок 5 – Функціональна схема двокоординатної системи наведення сонячних панелей

Висновки

Обрана і розглянута система автоматизації СЕСз шести панелей на основі двохосьового відслідковування положення сонця, дозволяє збільшити генерацію електроенергії на 30-40%, що за добу становить 2,2 кВт•год. Це дозволить зменшити кількість панелей для забезпечення електричною енергією.

Джерела інформації

1. Л.С. Стерман, С.А. Тевлин, А.Т. Шарков. Тепловые и атомные электростанции: Учебник для вузов – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Энергоиздат, 1982. – 456 с.
2. Данниє сонячної інсоляції для городів України [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://solar-tech.com.ua/fannye-solnechnoi-insolyacii-dlya-gorodov-ukrainy-2013-06-09.html>.
3. Каталог продукції фірми «ECO TECH UKRAINE» URL: <https://eco-tech.com.ua/>
4. Солнечный трекер — динамические системы монтажа солнечных панелей [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://teplodom.net.ua/oborudovanie/sistemy-kreplenij/solnechnyj-treker/>.

Керівник Дубовик В.Г.

УДК 621.316

Возний І. О.

Кафедра автоматизації електротехнічних і мехатронних комплексів

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ МАГІСТРАЛЬНОГО КОНВЕЄРА ПОВЕРХНЕВОГО КОМПЛЕКСУ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ

Анотація. В даній статті розглядаються питання зменшення енергоспоживання електропривода стрічкового конвеєра, збільшення термінів експлуатації його рухомих, шляхом автоматичного регулювання швидкості руху стрічки з виконанням моделювання режимів роботи в середовищі Matlab. Була використана система електроприводу ПЧ-АД з ПД - регулятором швидкості та контролем завантаженості конвеєра.

Ключові слова: регульований електропривід, ПД-регулятор швидкості, моделювання режимів роботи стрічкового конвеєру.

AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF THE MAIN CONVEYOR OF THE SURFACE COMPLEX OF THE COAL MINE

Abstract. This article considers the issues of reducing the power consumption of the electric drivebeltconveyor, increasing the service life of the moving parts of this conveyor by automatic speed regulation of the belts speed and modeling modes of operation in the Matlab environment. To achieve these goals, an inverter system with a PID speed controller and conveyor load control was used.

Key words: adjustable electric drive, PID speed regulator, modeling of the belt conveyor operating modes.

Вступ. Стрічковий конвеєр при транспортуванні насипного вантажу, як показує практика, часто буває навантаженим нижче номінального значення, що приводить до зайвих витрат на електроенергію та швидшого зносу рухомих частин конвеєра, і в наслідок, до підвищення собівартості транспортуючого вантажу.

Ця проблема вирішується регулюванням швидкості конвеєра за рахунок контролю навантаження стрічки.

Мета та завдання дослідження. Змоделювати режими роботи стрічкового конвеєра з автоматизованою системою керування швидкістю в середовищі Matlab-Simulink та порівняти характеристики електроспоживання автоматизованого електроприводу з неавтоматизованим.

Матеріали дослідження. Об'єктом дослідження є стрічковий конвеєр з продуктивністю $Q = 700$ т/год, довжиною $L = 1000$ м, шириною стрічки $B = 1000$ мм та швидкістю стрічки $v = 2$ м/с з приводним асинхронним двигуном потужністю 315 кВт, синхронною швидкістю $n_1 = 1500$ об/хв.

При побудові комп'ютерної моделі автоматизованої системи керування конвеєрною установкою була використана комп'ютерна програма MATLAB.

Для побудови силової та управляючої частин у більшій мірі був використаний пакет MATLAB-Simulink-SimScare [1]. Імітаційна модель стрічкового конвеєра представлена на рис. 1.

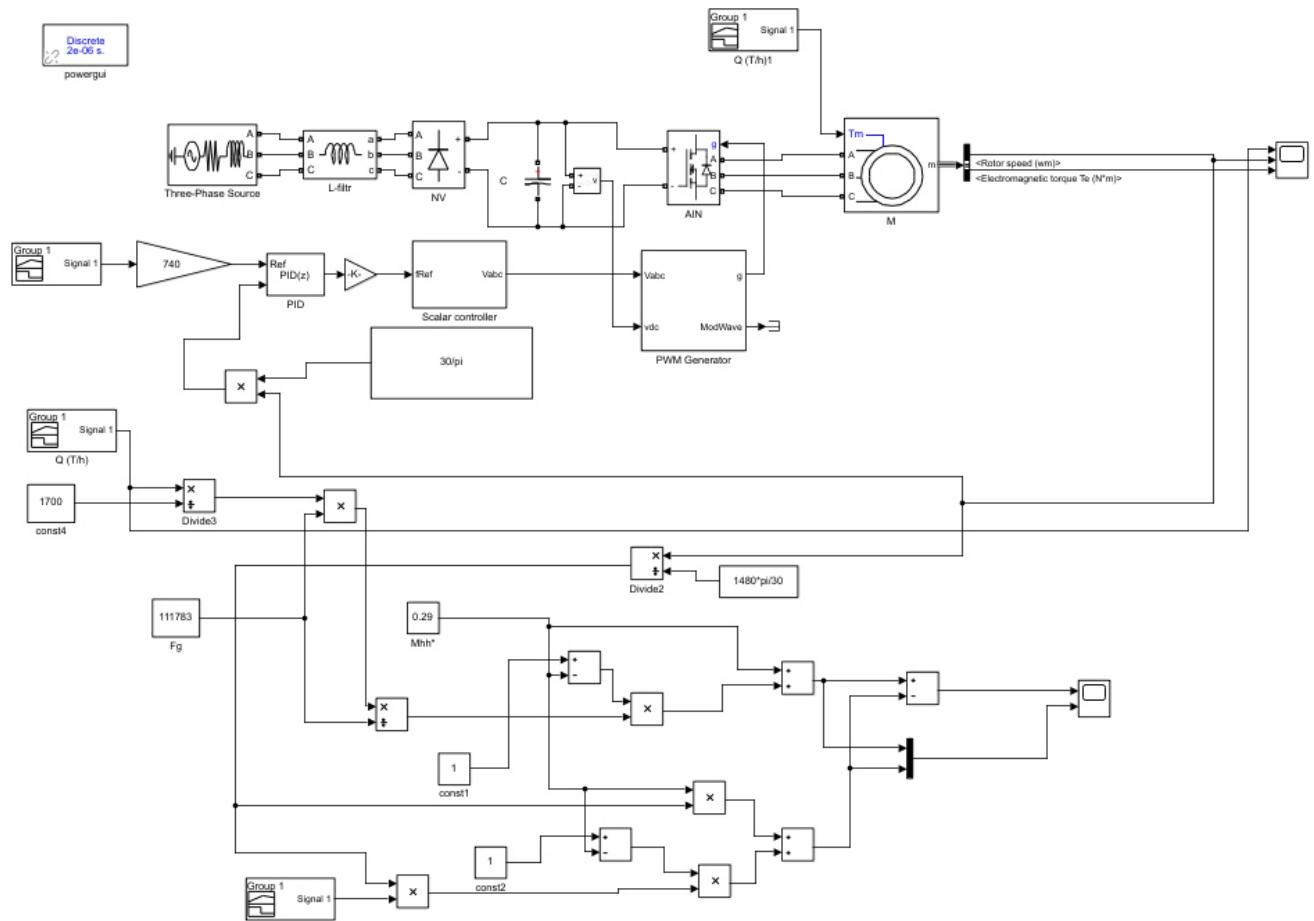


Рисунок 1 – Імітаційна модель конверера

Елементи силової частини:

- Three-Phase Source – мережа трифазної змінної напруги;
- L-filtr – фільтр електромагнітної сумісності (ЕМС);
- NV – некерований випрямляч на діодах;
- C-filtr – фільтр в ланці постійного струму;
- AIN – автономний інвертор на IGBT-транзисторах;
- M – асинхронний двигун з короткозамкненим ротором.

Керуюча частина:

- PID – ПД-регулятор швидкості;
- Scalar controller – контролер, що реалізує скалярний закон керування $U/f=\text{const}$;
- PWM Generator – широтно-імпульсний перетворювач.

Для визначення нераціональної витрати електроенергії використовуються обчислювачі [2].

Момент на валу приводного двигуна конверера

$$M = \frac{FR}{i_p \eta_p}$$

де R – радіус барабана; F – зусилля на приводному барабані; $i_p \eta_p$ – відповідно передаточний коефіцієнт та ККД редуктора.

Зусилля на барабані має дві складові

$$F = F_{\Gamma} + F_x,$$

де F_{Γ} – зусилля, необхідне для переміщення вантажу; F_x – зусилля, затрачуване на переміщення стрічки конвеєра.

Коли вантаж на конвеєрі відсутній, двигун розвиває момент холостого ходу

$$M_x = \frac{F_x R}{i_p \eta_{px}},$$

де η_{px} – ККД редуктора, що відповідає зусиллю F_x .

З огляду на властивості механічних передач, залежність моменту на валу двигуна від зусилля на барабані

$$M_* = M_{x*} + (1 - M_{x*})F_{\Gamma*},$$

$$\text{де } M_* = \frac{M}{M_H}; M_{x*} = \frac{M_x}{M_H}; F_{\Gamma*} = \frac{F_{\Gamma}}{F_{\Gamma H}};$$

M_H – номінальний момент на валу двигуна, необхідний для переміщення стрічки та номінального вантажу при номінальній швидкості; $F_{\Gamma H}$ – складова зусилля F у тяговому органі конвеєра, що виникає за рахунок переміщення лише номінального корисного вантажу.

Складова F_{Γ} тягового зусилля й швидкість V переміщення стрічки конвеєра визначають його продуктивність:

$$Q_* = F_* V_*,$$

де $Q_* = \frac{Q}{Q_H}$; Q_H – номінальна продуктивність конвеєра; $V_* = \frac{V}{V_H}$; V_H й V – відповідно, номінальна й фактична швидкості руху стрічки.

При постійній номінальній швидкості конвеєра ($V_* = 1$)

$$Q_* = F_*,$$

потужність, що розвивається двигуном на валу:

$$P_* = M_* \omega_* = M_{x*} + (1 - M_{x*})Q_*,$$

де $P_* = \frac{P}{P_H}$; $\omega_* = \frac{\omega}{\omega_H} = 1$; P_H, ω_H – номінальна потужність та кутова швидкість двигуна

Потужність на валу двигуна з регулюванням швидкості V_*

$$P'_* = M_* \omega_* = [M_{x*} + (1 - M_{x*})]Q_*,$$

де $Q_* = F_{\Gamma*} V_*$; $F_{\Gamma*} = 1$

В результаті моделювання отримаємо характеристики зображені на рис.2.

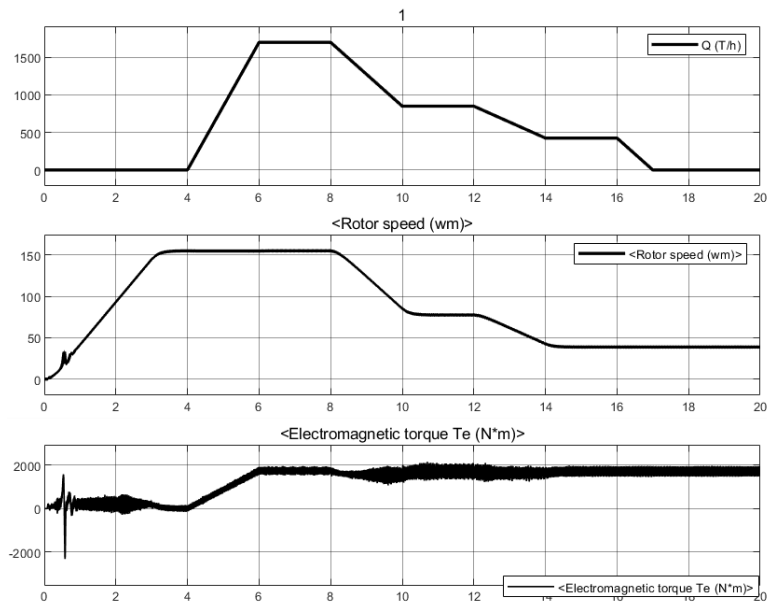


Рисунок 2 – Механічні та навантажувальні характеристики стрічкового конвеєра

Нижня характеристика показує можливість підтримки постійного навантаження на стрічковому конвеєрі за рахунок регулювання швидкості відносно вантажопотоку

На рис. 3 зображено часові графіки зміни потужності в регульованому P^* та нерегульованому P^* електроприводах.

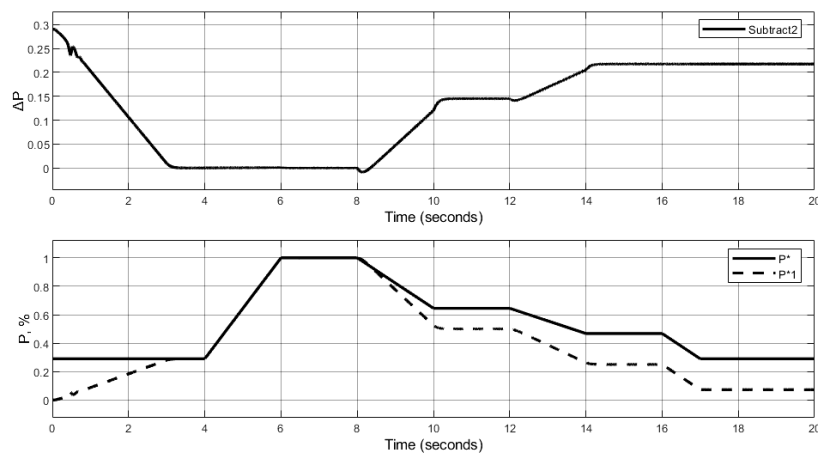


Рисунок 3 – Часові графіки споживання активної потужності

На верхньому графіку рис. 3 зображено різниця споживаної потужності при регульованому та нерегульованому приводах.

У приведеній віртуальній моделі при холостому ході швидкість стрічки дорівнює $0.25 \cdot V_n$, тому не вдається отримати максимальну економію електроенергії.

Висновок. Віртуальна модель стрічкового конвеєру з регулюванням швидкості відносно вантажопотоку дає можливість побачити, як зміна входних параметрів впливає на роботу електроприводу, оцінити можливість зменшення електроспоживання та дослідження

різних режимів роботи. Регулювання швидкості не тільки зменшує електроспоживання, але і збільшує термін експлуатації рухомих частин конвеєра. Вхідні параметри, такі як, продуктивність, швидкість конвеєра, потужність електроприводу можна налаштовувати у відповідних блоках. При врахуванні інших параметрів (нахил, швидкість дії зворотного зв'язку і т. д.) можна отримати більш наближені результати до реальних. Їх введення в дану модель не викликає проблем.

Перелік посилань

1. Герман-Галкін. С. Г. Matlab & Simulink. Проектування мехатронних систем на ПК. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.
2. О. М. Закладний. Дистанційний курс «Основи електропривода». Інститут енергозбереження і енергоменеджменту НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського». Київ, 2007. С. 145-149.

УДК 621.3.078

Литвин А.Г.

Кафедра Автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

ОПТИМІЗАЦІЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ ЛІФТОВОЇ УСТАНОВКИ

***Анотація.** В результаті проведених досліджень було створено систему керування, що реалізує бажані діаграми швидкості, незалежністю від діючих параметричних і координатних збурень, використовуючи формування керуючого впливу зі змінною структурою.*

***Ключові слова:** автоматизована система керування, енергоефективність, ліфтова установка, динамічні режими.*

***Abstract.** As a result of the research, a control system was created that implements the desired velocity diagrams, independent of the existing parametric and coordinate perturbations, using the formation of a control effect with a variable structure.*

***Key words:** automated control system, energy efficiency, elevator installation, dynamic modes.*

Вступ. У зв'язку з промисловим розвитком і зростаючою сучасністю ліфтові системи стали незамінними в багатьох багатоповерхових будинках. Коли для транспортування людей використовуються електричні ліфти, комфорт їзди стає дуже важливим питанням, особливо коли швидкісні ліфти використовуються у висотних будинках. Системи ліфта повинні забезпечувати хорошу точність зупинки та чудовий рівень комфорту їзди. Пасажири відчують деякі проблеми, які впливають на їх комфорт, наприклад вібрацію та ривки, які виникають під час пересування між поверхами ліфта, особливо під час запуску та зупинки кабіни. Щоб мінімізувати наслідки цих проблем, кабіна повинна управлятися таким чином, щоб забезпечити безперебійну роботу та плавний запуск і зупинку. Тому виникає необхідність контролювати напругу і частота електродвигуна, що приводить в рух кабіну ліфта.

Мета та завдання. Метою робіт є створення систем керування, що реалізують бажані діаграми швидкості, незалежністю від діючих параметричних і координатних збурень, використовуючи формування керуючого впливу зі змінною структурою.

Матеріал та результати дослідження.

У житлових і комерційних будівлях найпоширенішим рішенням для вертикального перевезення пасажирів і вантажів є електричний ліфт. Зокрема, ліфти широко використовуються у всьому світі [2]. Його структура мало змінилася з моменту будівництва перших комерційних ліфтів такого типу.

У той час як системи керування, функції безпеки, ходова здатність, довговічність та економічність знаходяться в постійній еволюції. Висока швидкість транспортування, низький ривок, точне позиціонування, швидке та ефективне керування та обмежена кількість датчиків – усе це вимоги до сучасних пасажирських ліфтів. [3,4].

У сучасних ліфтах особливу увагу потребує комфорт пасажирів. Сьогодні існують ліфти, які досягають номінальної швидкості 18 метрів на секунду, щоб підвищити їх доступність у високих офісних будівлях з високою частотою руху. У цих ліфтах спостерігається висока вібрація під час їх руху, а при запуску та зупинці відбувається сильний ривок, який може

викликати дискомфорт у пасажирів, а також вони впливають на продуктивність електричної та механічної підсистеми, а також знижують термін служби системи.

Існують особливі вимоги, яким повинні відповідати приводи зі змінною швидкістю під час керування ліфтом, наприклад:

1. Комфорт під час їзди: рух кабіни ліфта повинен бути плавним, в межах значень прискорення та ривка. Значення ривка м'якості та комфорту їзди особливо важливо і це представляє швидкість зміни прискорення.

2. Пуск і зупинка. Системи ліфтів відомі своєю великою кількістю операцій запуску та зупинки, при цьому деяким системам потрібно до 240 запусків щогодини. Особливі умови вводяться в результаті кількості тепла, що виробляється електродвигуном.

3. Точність рівня. Висока точність потрібна при кожній зупинці, робота кабіни ліфта може досягати 1-2 мм.

4. Зворотній зв'язок щодо швидкості. Сучасні системи зазвичай повинні використовувати зворотний зв'язок положення та швидкості, щоб забезпечити ефективний контроль швидкості, комфорт їзди та точне вирівнювання.

5. Електричне гальмування. Для точного контролю швидкості ліфта електричне гальмування має бути інтегровано в систему водіння. Існує багато способів, які можна використовувати для гальмівних систем ліфтів.

Для забезпечення необхідної точності реалізації заданого режиму з високою точністю (особливо в позиційних електроприводах) необхідним є створення систем керування, що реалізують бажані діаграми швидкості, незалежністю від діючих параметричних і координатних збурень. Для вирішення даного завдання найбільш ефективно використовувати формування керуючого впливу зі змінною структурою [1].

На рис. 1 представлена структурна схема системи керування електроприводом будь-якого типу із замкнутими контурами швидкості та положення і нелінійним каналом керування.

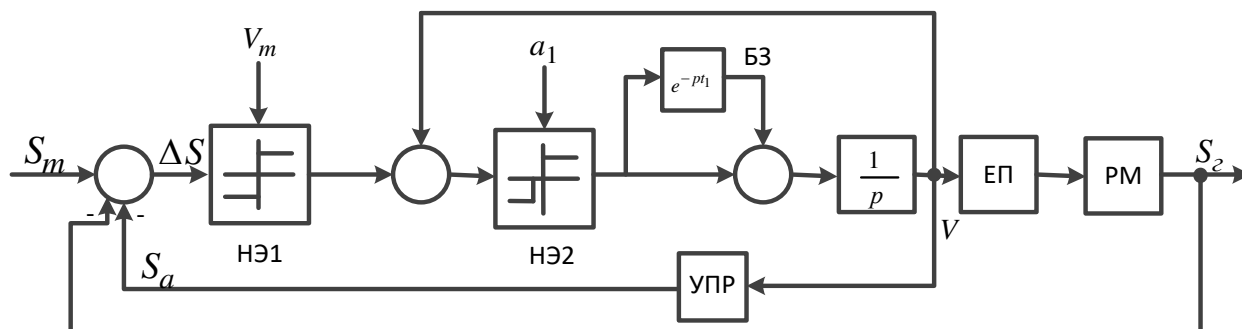


Рисунок 1 – Структурна схема системи керування позиційним електроприводом

На малюнку позначено: S_m і S - відповідно задане й поточне значення положення робочого органу механізму; HE1 і HE2 – нелінійні елементи, що обмежують задані максимальні значення швидкості V_m та прискорення a_1 ; БЗ – блок запізнювання на час t_1 ; ЕП - передатна функція замкнутої по швидкості системи електропривода; РМ - робочий механізм із одним пружним зв'язком; ППР – пристрій перемикання режиму роботи системи, що разом з БЗ формує двоступінчаста зміна рушійного моменту (прискорення).

Заданими величинами є: максимальна швидкість, що обмежується $V_{m.o}$, прискорення a_m , що обмежується, прискорення першого щабля $a_1 = a_m/2$; час дії першого щабля прискорення t_1 ; швидкість у момент переходу прискорення з першого на другий щабель V_a . Зона нечутливості НЕ2 дорівнює V_a . Швидкість, що обмежується $V_m \leq V_{m.o}$, визначається залежно від значення заданого положення механізму S_m .

Визначення швидкості V_m залежить від граничного положення $S_{m.г} = 8V_a^2/a_m$:

$$V_m = \begin{cases} (V_a^2 + a_m S_m) - V_a & \text{при } S_m \geq S_{m.г}; \\ (0,5 a_m S_m)^{1/2} & \text{при } S_m < S_{m.г}. \end{cases} \quad (1)$$

Структурна схема алгоритму функціонування керуючого каналу з вихідним сигналом S_a наведена на рис. 2.

Якщо розглядати коливання переміщення робочого органу відносно кутового переміщення валу двигуна, то пружний момент M_y визначиться стосовно рушійного моменту з вираження в операторній формі

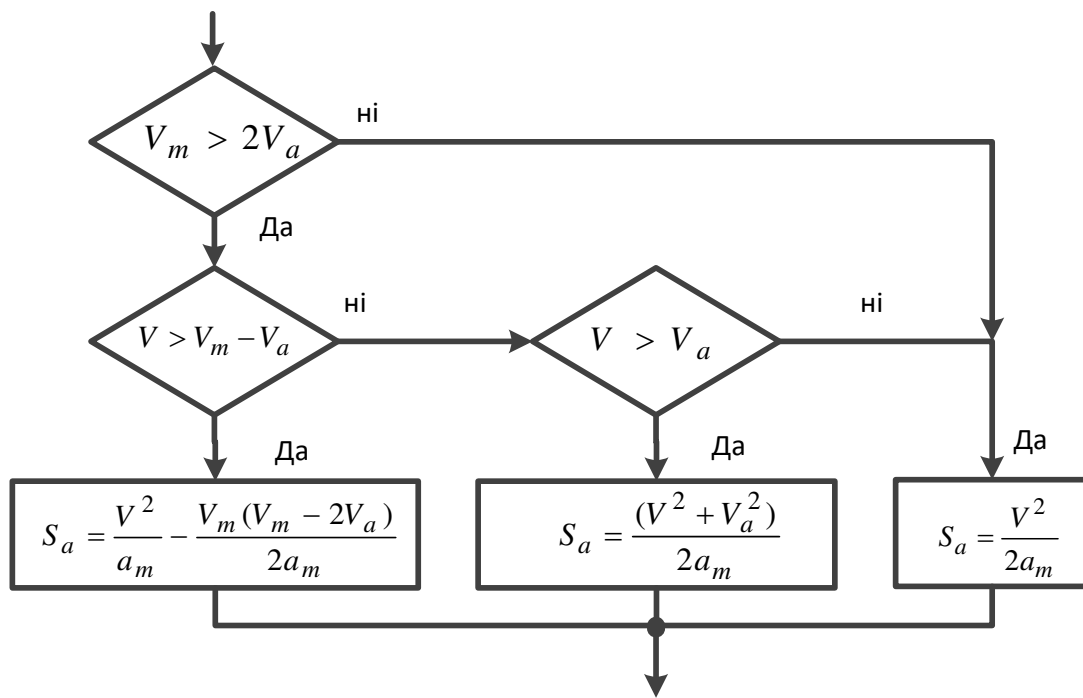


Рисунок 2 – Структурна схема алгоритму функціонування каналу керування

$$M_y(p) = M_{дв}(p) \frac{C_y}{p^2 + \mu \omega_y^2 p + \omega_y^2}, \quad (2)$$

де $\omega_y = \sqrt{C_y/J_2}$ - частота вільних коливань робочого органу механізму;

μ - коефіцієнт затухання коливань;

$t_1 = \pi/\omega_y$ - час запізнювання.

Відповідно до рис. 1 і 2 була синтезована SIMULINK-модель системи керування при $S_m = 100$; $V_m = 10$; $V_a = 2$; $t_1 = 2$ з; $C_y = 56$; $\omega_y = 1,57$. Графіки зміни швидкості V , прискорення a_1 (динамічного моменту) і пружного моменту M_y представлені на рис. 3.

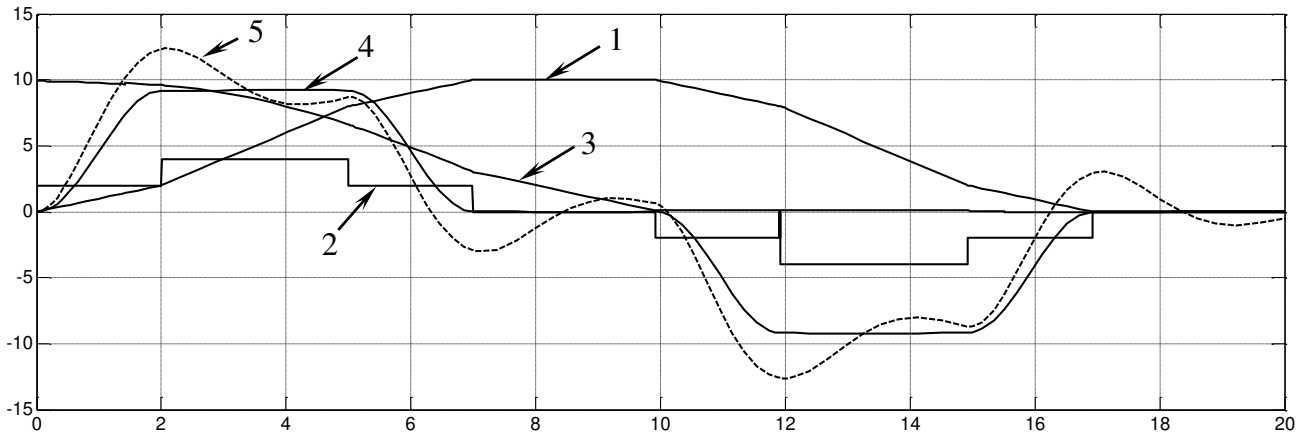


Рисунок 3 –Графіки перехідних процесів: 1,2,3,4 – відповідно швидкість, прискорення, помилка регулювання, пружний момент в оптимальному режимі; 5 – пружний момент при неоптимальному режимі (одноступінчастий рушійний момент).

Висновки: Використання змінної структури в каналі керування забезпечує заданий режим позиціонування електропривода та відсутність пружних коливальних процесів у робочому механізмі.

Перелік посилань:

1. Чермалих О.В., Данілін О.В., Босак А.В.. Оптимізація динамічних режимів шахтної підйомної установки. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2017. № 3. С. 97–101.
2. Kang, J. K., & Sul, S. K. Vertical-vibration control of elevator using estimated car acceleration feedback compensation. *IEEE Transactions on industrial electronics*. 2000. Vol. 47(1). P. 91- 99.
3. Yu, J. S., Kim, S. H., Lee, B. K., Won, C. Y., & Hur, J. Fuzzy-logic-based vector control scheme for permanent-magnet synchronous motors in elevator drive applications. *IEEE transactions on Industrial Electronics*. 2007. Vol. 54(4). P. 2190-2200/

Науковий керівник к.т.н., доц. Босак А.В.