МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота/проєкт

другий (магістерський) рівень
(рівень вищої освіти)

на тему «Дослідження можливості підвищення енергетичної ефективності меблевого виробництва»

Виконав: студент _2_ курсу, групи 8.1413
спеціальності _____141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(назва освітньої програми)

спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
_____Д.М.Тітков_____
(ініціали та прізвище)

Керівник ___к.т.н., доц. Єрофєєва А.А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент___ проф.,д.т.н. Биковський О.Г.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М.Потебні
Кафедра____Електричної інженерії та кіберфізичних систем _____
Рівень вищої освіти____другий (магістерський) рівень_____
Спеціальність Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва)
Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

д.т.н., проф. _____ В.Л. Коваленко
«_____»_____2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЄКТ СТУДЕНТОВІ(СТУДЕНТЦІ)

Тітков Данило Максимович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) «Дослідження можливості підвищення енергетичної ефективності меблевого виробництва»
керівник роботи __Єрофєєва Аліна Анатоліївна, доц.,к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ «28» лютого 2024 року № 361-с
Строк подання студентом роботи _____01 грудня 2024 р._____
3 Вихідні дані до роботи : зведені дані щомісячного електроспоживання, технічні дані компресорів та осушувачів: компресор HV18- потужність 18 кВт, рекомендований об'єм ресивера -300, швидкість обертання компр. блоку -1450 об/хв.; осушувач HV37 - потужність 37 кВт, рекомендований об'єм ресивера -500, швидкість обертання компр. блоку -1760 об/хв.
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Характеристика технологічного процесу 2) Енергозбереження в системах стисненого повітря. 3) Енергозбереження в системах освітлення 4) Аналіз енергетичної ефективності встановлення теплоакумуляторів
5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1) Діаграма енергоспоживання підприємства. 2) Обладнання

підприємства з числовим програмним управлінням. 3)Технічні характеристики компресора 4) Економія електроенергії в залежності від частоти обертання. 5) Залежність освітленості та потужності освітлювальної установки від часу. 6) Блок-схема алгоритму автоматичного освітлення 7) Співвідношення зекономленої електроенергії до загального обсягу споживання електроенергії при використанні методів управління освітленням.8) Використання теплонакопичувачів у різних сферах промисловості. 9) Математична модель для встановлення теплонакопичувачів 10) Аналіз енергетичної ефективності встановлення теплоакумуляторів.

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Єрофєєва А.А., доц., к.т.н.		
Розділ 2	Єрофєєва А.А., доц., к.т.н.		
Розділ 3	Єрофєєва А.А., доц., к.т.н.		
Розділ 4	Єрофєєва А.А., доц., к.т.н.		

5 Дата видачі завдання 24.06.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика технологічного процесу	10.09.2024	
2	Енергозбереження в системах стисненого повітря	01.10.2024	
3	Енергозбереження в системах освітлення	28.10.2024	
4	Аналіз енергетичної ефективності встановлення теплоакумуляторів	25.11.2024	

Студент _____ Д.М.Тітков
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ А.А.Єрофєєва
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ І.І.Коваленко

АНОТАЦІЯ

Д.М.Тітков. Дослідження можливості підвищення енергетичної ефективності меблевого виробництва.

Кваліфікаційна випускна робота на здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, науковий керівник А.А. Єрофєєва. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні. Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2024.

У кваліфікаційній роботі магістра розглянута можливість підвищення енергоефективності меблевого виробництва.

Для економії електроенергії пропонується заміна двох компресорів на один з частотним перетворювачем, а також заходи в системі освітлення. Розглядаються шляхи підвищення ККД існуючої системи освітлення та автоматизація, а саме встановлення системи управління освітленням. Запропоновано блок-схему алгоритму автоматичного освітлення.

Проведено дослідження оптимізації використання теплонакопичувачів у промислових процесах та представлена математична модель для встановлення теплонакопичувачів.

У техніко-економічній частині розраховано економічний ефект від впровадження даних заходів.

Ключові слова: компресор, частотний перетворювач, система освітлення, теплопостачання, навантаження, автоматизація, математична модель, теплонакопичувач, енергоефективність.

ABSTRACT

Titkov D.M. Research of the possibility of increasing the energy efficiency of furniture production.

Qualifying final work for the degree of master's degree in specialty 141 - Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics, supervisor A.A. Yerofieieva. Zaporizhzhia National University. Y.M. Potebnyi Engineering Education and Research Institute. Department of Electrical Engineering and Cyberphysical Systems, 2024.

The master's thesis considers the possibility of improving the energy efficiency of furniture production.

To save electricity, it is proposed to replace two compressors with one with a frequency converter, as well as measures in the lighting system. Ways to improve the efficiency of the existing lighting system and automation, namely the installation of a lighting control system, are considered. A block diagram of the automatic lighting algorithm is proposed.

A study of optimization of the use of heat storage devices in industrial processes is carried out and a mathematical model for the installation of heat storage devices is presented.

In the technical and economic part, the economic effect of the implementation of these measures is calculated.

Keywords: compressor, frequency converter, lighting system, heat supply, load, automation, mathematical model, heat storage, energy efficiency.

ЗМІСТ

ВСТУП 8
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ 10
1.1 Обладнання 15
1.2 Освітлення 23
1.3 Теплопостачання 25
2 ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В СИСТЕМАХ СТИСНЕНОГО ПОВІТРЯ 26
2.1 Оптимізація енергозбереження при експлуатації систем стисненого повітря 26
2.2 Управління та оптимізація системи. Засоби управління компресором. Встановлення послідовності підключення 29
2.3 Водопідготовка і водопостачання 35
2.4 Розрахунок енергоспоживання компресорним обладнанням 37
2.5 Техніко-економічне обґрунтування встановлення компресора з частотним перетворювачем 44
3 ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В СИСТЕМАХ ОСВІТЛЕННЯ 46
3.1 Розрахунок енергоспоживання існуючої системи освітлення 46
3.2 Покращення освітлення шляхом підвищення ККД існуючої системи освітлення 47
3.3 Способи автоматизації управління освітленням 52
3.4 Алгоритм автоматизації освітлення 58
3.5 Вибір системи автоматизації управління освітленням 60
3.6 Розрахунок економії електроенергії в системі освітлення за рахунок автоматизації 63

4 АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВСТАНОВЛЕННЯ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРІВ 65
4.1 Локальні теплоакумулятори 66
4.2 Математична модель для встановлення теплонакопичувачів
4.3. Розрахунок витрат на електроенергію при встановленні теплонакопичувачів 68
ВИСНОВКИ 73
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ 74

ВСТУП

Актуальність роботи. Енергоефективність меблевого виробництва в Україні є ключовим фактором для підвищення продуктивності, зниження витрат і збереження ресурсів. Інвестиції в модернізацію обладнання, використання відновлюваних джерел енергії та реалізація систем енергоменеджменту здатні значно покращити ситуацію в галузі та зробити її більш конкурентоспроможною на глобальному ринку.

Основне завдання модернізації меблевого виробництва полягає в забезпеченні максимальної продуктивності верстатів і підтримці заданої якості продукції. Одночасно модернізація дозволяє вирішувати завдання підвищення рівня організації виробництва, оперативності управління технологічними процесами і в цілому підвищення економічної ефективності виробництва.

Одним з найважливіших напрямів вдосконалення процесу, що розглядається, є вживання сучасних енергозберігаючих заходів, які покликані забезпечити істотне збільшення продуктивності праці, поліпшення якості продукції, що випускається та інших техніко-економічних показників виробництва.

Об'єкт дослідження – електричне обладнання меблевого виробництва.

Предмет дослідження – ефективність електроспоживання меблевого виробництва.

Мета роботи - дослідження можливості підвищення енергетичної ефективності меблевого виробництва.

Задачі дослідження. Для досягнення зазначеної мети дослідження в магістерській роботі вирішуються такі задачі:

- характеристика технологічного процесу виробництва;
- енергозбереження в системах стисненого повітря;

- енергозбереження в системах освітлення;

- аналіз енергетичної ефективності встановлення теплоакумуляторів.

- техніко-економічне обґрунтування заходів щодо підвищення енергетичної ефективності меблевого виробництва.

Методи дослідження - теоретичний, розрахунковий, аналіз і синтез літератури, математичне моделювання, техніко-економічний аналіз.

Апробація роботи. Участь у І ВСЕУКРАЇНСЬКІЙ НАУКОВО-ПРАКТИЧНІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ ЗА УЧАСТЮ МОЛОДИХ УЧЕНИХ ТА ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ «АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СУСПІЛЬСТВА У СФЕРАХ ЕКОЛОГІЧНОЇ ТА ЦИВІЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, МЕНЕДЖМЕНТУ ТА ЕКОНОМІКИ» 16-18 жовтня 2024 року Запоріжжя: ЗНУ, 2024.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

В кваліфікаційній роботі досліджується меблеве виробництво. На території підприємства розташовані: цех № 1 (у якому безпосередньо розташовані виробничі потужності), цех № 2 (що будується), складське приміщення, будівля котельної, будівля АПК.

В даний час технологія з виготовлення меблів включає в себе процеси від обробки заготовок і нарізки, до складання та пакування готової продукції. Таким чином, виготовлення меблів на основі сучасних технологій у підсумку забезпечує естетичність, ергономічність і якість готової продукції.

У виготовленні меблів дуже важливе місце займає якість застосовуваного дереворізального та шліфувального обладнання та інструмента, на підприємстві використовується сучасне обладнання єврокласу з комп'ютерним управлінням провідних фірм Biesse і Griggio (Італія), Hebrock (Німеччина), а також високоточний інструмент європейського класу німецької фірми Leitz та італійської фірми CMT.

При підготовці кваліфікованих фахівців використовуються програми навчання на підприємствах партнерах. Розробка нових моделей ведеться в тривимірних програмних комплексах сучасних CAD-пакетів. Контроль за якістю продукції ведеться на всіх стадіях виробництва від проєктування до виходу готової продукції.

Сучасні CAD-програми (Computer-Aided Design) допомагають меблевому виробництву проєктувати, моделювати та оптимізувати виробництво меблів. Ось найпопулярніші CAD-пакети для меблевої галузі:

1. Autodesk AutoCAD- Універсальний інструмент для створення 2D- та 3D-креслень меблів.

Особливості:

- Широкий набір інструментів для точного моделювання.
- Підтримка великих і складних проєктів.
- Інтеграція з іншими програмами Autodesk.

2. SolidWorks- параметричне 3D-моделювання меблів.

Особливості:

- Можливість створення моделей із високою точністю.
- Розширені функції симуляції навантажень.
- Інтеграція з CAM-системами для автоматизації виробництва.

Меблі, зроблені з цільної деревини, завжди були дорогі, тому щоб зменшити вартість готової продукції і зробити меблі більш доступними, стали застосовуватися матеріали з відходів деревообробки.

На даний момент за основу матеріалу для виготовлення меблів все частіше беруть деревостружкові плити (ДСП) - дерев’яні частки, отримані з відходів деревообробки, надалі подрібнені, висушені, просочені карбамідоформальдегідними смолами і піддані гарячому пресуванню.

ДСП - найпоширеніший у виробництві меблів матеріал, для оформлення інтер'єрів, будівництва (дахи, перегородки). Для кухонь і ванн використовується спеціальний різновид ДСП - з підвищеною вологостійкістю. Незаперечні переваги ДСП - легкість обробки і економічність. Вироби з ДСП відрізняються привабливим зовнішнім виглядом, простотою в експлуатації і набагато меншою вартістю у порівнянні з аналогічними виробами, виробленими з цілісних пиломатеріалів.

На підприємство (складські приміщення) доставляють плити ДСП в палетах, товщина плити, з якої виробляються меблі дорівнює 16 мм. Зі складу плити надходять на ділянку розпилу, де згідно з картками розкрою листи ДСП розрізаються на заготовки. На ділянці знаходиться 2 верстати з обробки листів ДСП. Продуктивність ділянки 80 ÷ 100 листів за зміну.

Далі вже розкроєні заготовки надходять на ділянку криволінійної обробки. Ця ділянка призначена для обробки прямокутних заготовок і надання їм закінчених криволінійних форм і часткового свердління отворів.

Наступним етапом обробки деталей є прямолінійна і криволінійна обробка торців і кутів. Для цього на деталь наносять облицювальний матеріал, що представляє собою стрічку ПВХ товщиною 0,4 мм або 2мм, шириною 22мм. Зняття звисів матеріалу відбувається вручну для матеріалу 0.4мм та для 2-х мм матеріалу за допомогою фасонного радіусного фрезерного верстата. Далі деталі, які не змогли обробити на ділянці криволінійної обробки (зважаючи на обмеження можливості обробки деталей малих розмірів на верстатах з ЧПЗ) потрапляють на ділянку остаточної свердловки, де вручну здійснюється досвердловка деталей.

Остаточним етапом виробництва меблів є процес упаковки. На цьому етапі відбувається формування одиниць меблів з готових деталей, згідно з переліком для даної одиниці продукції, доукомплектування фурнітурою і безпосередньо пакування деталей в картонні коробки.

Після упаковки готова продукція надходить на склад. Обсяги виробництва дорівнюють від 40 до 120 одиниць меблів на зміну.

Енергоспоживання підприємства наведено в таблиці 1.1.

Таблиця1.1 – Зведені дані щомісячного електроспоживання

Енергія	2021		2022	
	Активна, кВт·год	Реактивна, кВАр·год	Активна, кВт·год	Реактивна, кВАр·год
1		3	4	5
Січень	24690	25440	37530	38670
Лютий	26310	26868	0	0

Продовження таблиці 1.1.

Березень	29940	44784	39210	58650
Квітень	23970	25356	31140	32940
Травень	18840	21394	25890	29400
Липень	26640	30302	38190	43440
Червень	26550	30130	38940	44190
Серпень	30630	41783	38970	53160
Вересень	30000	30637	43830	44760
Жовтень	33290	27024	53550	43470
Листопад	37150	26331	52020	36870
Грудень	36990	33025	45060	40230

Діаграма енергоспоживання підприємства наведена на рисунку 1.1.

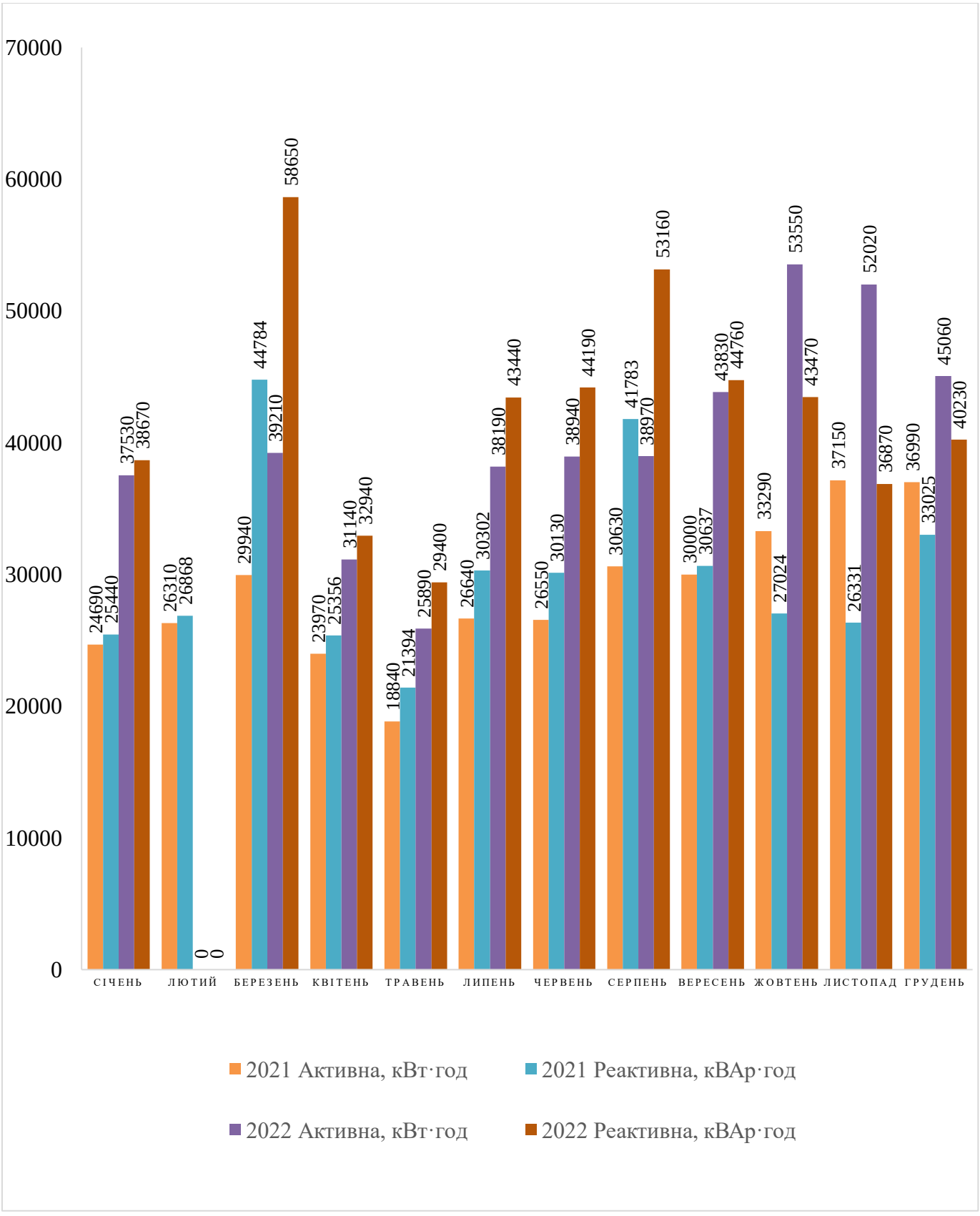


Рисунок 1.1 – Діаграма енергоспоживання підприємства

1.1 Обладнання

Верстат кромкооблицювальний Breze m200 призначений для облицювання прямих і криволінійних торців меблевих заготівель рулонними матеріалами кромок типу PVC, ABS, PP, меламіну, шпона (рис 1.2).



Рисунок 1.2 - Верстат кромкооблицювальний Breze m200

Відмітні особливості моделі m200:

- двоступінчаста система розігрівання і примусова циркуляція клею-розплаву, що запобігають його пригоранню;
- захист від включення двигуна при недостатньо розігрітому клеї; регульована швидкість подання матеріалу кромки;
- режим очікування (дозволяє підтримувати клей в розігрітому стані на зниженій температурі при перервах в роботі);
- зручна цифрова індикація електронного блоку управління;
- антипригарний алгоритм нагріву клею;
- автоматичне подання матеріалу кромки;
- пневматичне чорнове обрізання матеріалу кромки;

- управління обрізанням від педалі, від кінцевого вимикача і по лічильнику довжини кромки;

- пам'ять на 10 значень довжини кромки (для обрізання по лічильнику довжини кромки);

- електронні лічильники (загальний і поточний) витрати матеріалу кромки.

Верстат дерево-розкроювальний Striebig (рис 1.3):

- напруга: 220/400 — 230/460 В;

- частота: 50/60 Гц;

- число фаз: 3;

- потужність: 3 кВт [1].

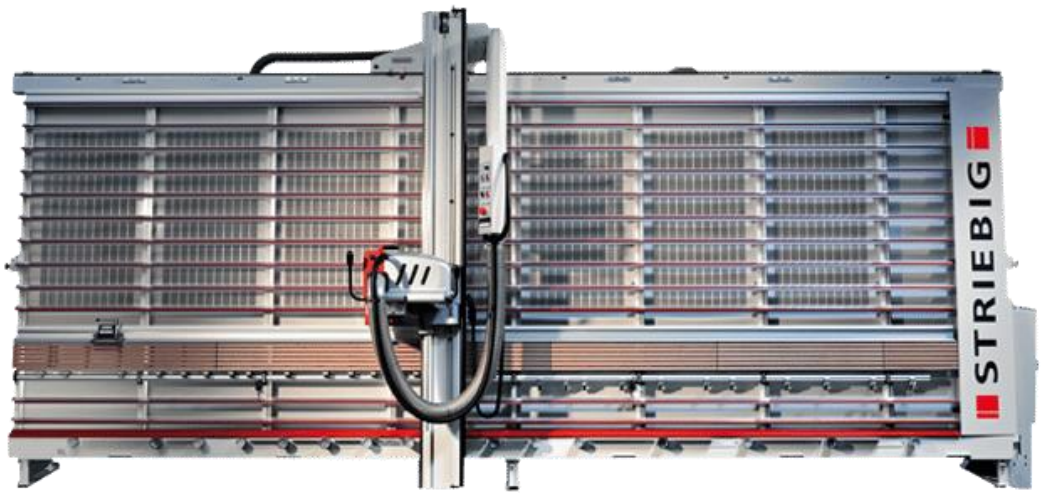


Рисунок 1.3 - Верстат дерево-розкроювальний Striebig [1]

2 верстати Hebrock 3006 DK-F. Автоматичний кромкооблицювальний верстат для нанесення матеріалу кромки на прямолінійні деталі (рис 1.4):

- товщина матеріалу кромки 0,3 - 3 мм;

- максимальна товщина деталі 40 мм;

- мінімальна довжина деталі 200 мм;

- мінімальна ширина деталі 70 мм;

- швидкість подання 11 м/м;

- вузол попереднього фугування деталі (2 фрезерних алмазних голівки поперемінного включення) 2 х 2,2 кВт;

- час розігрівання клейового бачка 6 хв.;

- автоматичний запуск ролика - аплікатора нанесення клею;

- електронний регулятор температури нагріву клейового бачка;

- клейова ванна, покрита тефлоном;

- пристрій для перемішування усередині клейової ванни;

- гільйотина відрубування матеріалу кромки від рулону до 3 мм;

- пильний вузол чистового торцювання 300 Гц.

- 1-й фрезерний вузол зняття пластових звисів (2 двигуни, 300 Гц, 18000 об/хв.), укомплектований фрезерними голівками з 4-ма прямими змінними ножами кожен.

- спільна потужність: 13,8 кВт.



Рисунок 1.4 - Верстат Hebrock 3006 DK-F

Свердлильно-присадочний верстат GF 21 (рис 1.5):

- напруга: 220/400 — 230/460 В;
- частота: 50/60 Гц;
- число фаз: 3;
- потужність: 1.5 кВт;
- споживання повітря: 10 л/цикл.



Рисунок 1.5 - Свердлильно-присадочний верстат GF 21

Оброблювальний центр з числовим програмним управлінням Rover B 4.35 (рис 1.6):

- напруга: 220/400 — 230/460 В;
- частота: 50/60 Гц;

- число фаз: 3;
- потужність: 12.9 кВт.



Рисунок 1.6 - Оброблювальний центр з числовим програмним управлінням Rover B 4.35

Оброблювальний центр з числовим програмним управлінням Skill 300 (рис 1.7):

- напруга: 220/400 — 230/460 В;
- частота: 50/60 Гц;
- число фаз: 3;
- потужність: 14 кВт.

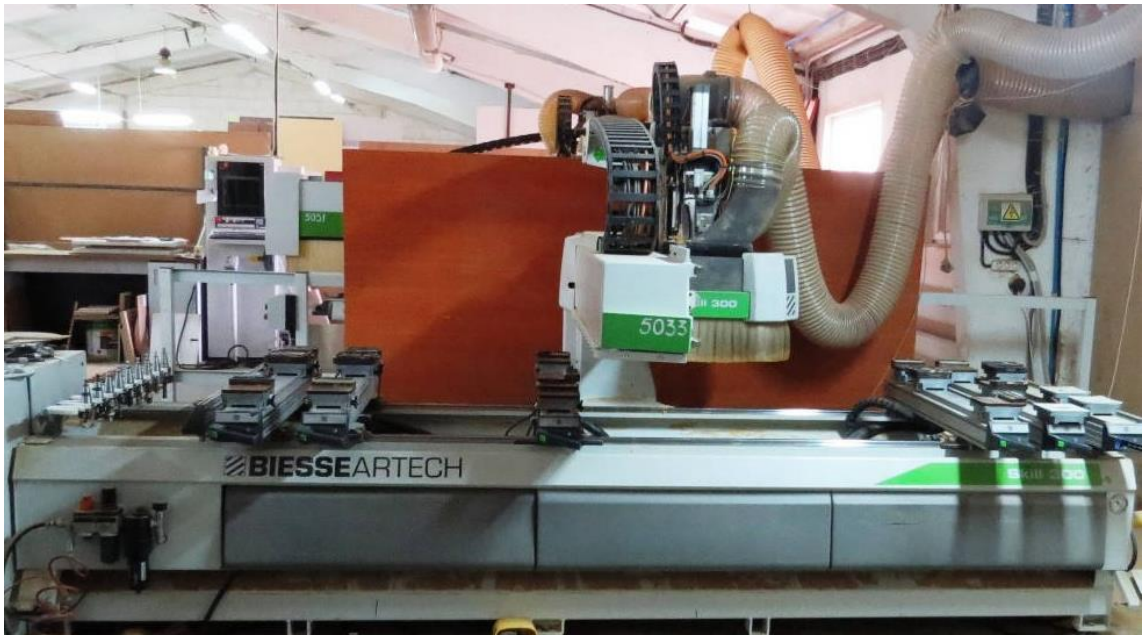


Рисунок 1.7 - Оброблювальний центр з числовим програмним управлінням Biesse Skill 300 Artech

Розкроювальні центри з числовим програмним управлінням SELCO EB (рис 1.8):

- напруга: 220/400 — 230/460 В;
- частота: 50/60 Гц;
- число фаз: 3;
- потужність: 19 кВт.

Витяжний пристрій 9:

- тип машини: AKV 3005 DK;
- тип витягання: DG 30;
- потужність двигуна: 0,48 кВт;
- швидкість: 2860 $хв^{-1}$;
- продуктивність: 14 $м^3$/хв;
- статичний тиск: 1800 Па.

Витяжний пристрій 10:

- тип витягання: DG 30;
- потужність двигуна: 0,48 кВт;
- швидкість: 2860 хв.$^{-1}$;
- продуктивність: 14 м^3/хв;
- статичний тиск: 1800 Па.

Витяжний пристрій 11:

- тип витягання: DG 30;
- потужність двигуна: 3 кВт;
- швидкість: 2860 хв.$^{-1}$.

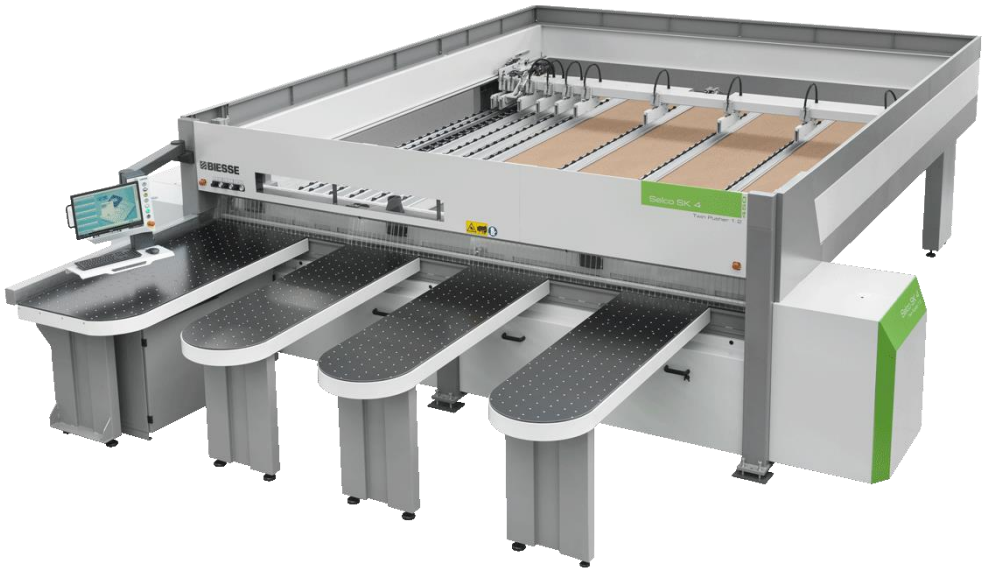


Рисунок 1.8 - Розкроювальний центр з числовим програмним управлінням SELCO EB

Більшість обладнання на фабриці споживає стиснене повітря, що виробляє два компресори Hydrovane (рис 1.9).

Ключові параметри [2]:

- максимальний робочий тиск, бар: 10 г;
- марка: Hydrovane;
- конфігурація: приймач встановлений;
- продуктивність компресора FAD: 8.1 куб.фут/хв;
- потужність двигуна: 2.2 кВт;
- рівень шуму: 69 дБ (А);
- розмір ресивера: 75 л;
- тип стартера: прямий.



Рисунок 1.9 - Компресор Hydrovane [2]

Характеристики компресорів та осушувачів наведені у таблиці 1.2

Кожен з компресорів забезпечує стисненим повітрям обладнання певного цеху. Доцільно буде замінити їх на один більш потужний компресор з частотним перетворювачем.

Це дозволить нам значно зекономити:

- економія за рахунок мінімізації часу холостого ходу;

- відсутність втрат із-за розвантаження внутрішньої системи компресора (ресивера легко-масляного сепаратора);

- економія за рахунок відсутності "перекачування" пневмосистеми по тиску;

- економія із-за менших витоків з пневмосистеми;

- економія за рахунок відмови від ремінної передачі на користь прямої (електродвигун - муфта - гвинтовий блок).

Таблиця 1.2 – Технічні дані компресорів та осушувачів

Технічні дані	Компресор HV18	Осушувач HV37
Подача повітря при 8 бар (л/сек)	49	94
Подача повітря при 10 бар (л/сек)	42	-
Рівень шуму (дБ)	70	88
Потужність (кВт)	18	37
Швидкість обертання компр. блоку (об/хв)	1450	1760
Повітря для вентиляції ($м^3$/год)	3400	14000
Рекомендований об'єм ресивера	300	500

1.2 Освітлення

У кожному з цехів встановлено по 48 енергозберігаючих ламп фірми MAXUS (рис 1.10).



Рисунок 1.10 - Енергозберігаюча лампа фірми MAXUS [3]

Характеристики ламп приведені у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики енергозберігаючих ламп MAXUS [3]

Характеристика	Од. виміру	Значення
Напруга	В	220
Потужність	Вт	105
Світловий потік	лк	7700
Температура горіння	К	6500
Цоколь	-	Е40
Вартість	грн	152

Для зниження споживання електроенергії системою освітлення ми пропонуємо організаційні заходи та способи автоматизації управління освітленням. Організаційні заходи допоможуть нам підвищити ККД існуючої системи освітлення, а автоматизація дозволить нам використовувати енергію

більш раціонально, залежно від потреби в освітленні та від стану освітленості в певний проміжок часу.

1.3 Теплопостачання

На підприємстві використовується газове опалення. На даний момент протягом опалювального сезону витрачається 54,84 тис. $м^3$ газу. Варіантом модернізації системи теплопостачання може бути встановлення локального теплонакопичувача. Незважаючи на те, що накопичувач живиться від електромережі, вироблення тепла таким чином може виявитись значно дешевшим, тому що тепло накопичувач споживає електроенергію лише вночі, у час провалу навантаження. Отже, необхідно розглянути напрям модернізації системи теплопостачання та порівняти з базовим варіантом.

2 ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В СИСТЕМАХ СТИСНЕНОГО ПОВІТРЯ

2.1 Оптимізація енергозбереження при експлуатації систем стисненого повітря

Устаткування для отримання і використання стисненого повітря є універсальним і безпечним, воно знайшло широке застосування в сучасній промисловості. Стиснене повітря використовується як джерело енергії, середовище для очищення (продування), засіб для транспортування і навіть як джерело холоду. Його універсальність, простота і доступність привели до поширеного невірного уявлення, що стисле повітря - дешеве благо. Насправді це не так.

При порівнянні з іншими видами енергії видно, що стиснене повітря - найдорожче джерело енергії. Із ста одиниць електрики, які поступають на двигун повітряного компресора тільки 10 - 20 відсотків цих одиниць виконують реальну корисну роботу, - ККД усього лише 10 – 20 %.

Компресор, по суті, є електронагрівачем, у якого ККД близький до 80 %, і який в якості побічного продукту вивільняє повітря під високим тиском.

Використання стисненого повітря як джерела енергії - це неефективна витрата енергії, тим більше, якщо він використовується як джерело охолодження. Використання для транспортування - також дороге задоволення. Вивчіть спочатку можливість використати альтернативні рішення, такі, як повітродувки, механічні конвеєри і так далі. Крім того, стиснене повітря використовується як засіб для очищення, пилоочисник, щітка і навіть як спосіб вигнати мух за межі робочої ділянки.

На відміну від багатьох інших енергоресурсів, стиснене повітря піддається виміру і управлінню. Із-за високої швидкості і стисливості, для забезпечення точності вимірів потрібно дорогі вимірювальні системи.

Оскільки повітря легко доступне, має місце тенденція сприймати його як деякий дар, без розуміння реальних енергетичних і інших витрат на його виробництво.

Існують різні способи підвищення ефективності компресорного устаткування, що приводить до значних заощаджень поточних витрат при недовгих термінах окупності. Можливості енергозбереження в системах компресорного устаткування можна розділити на наступні категорії.

1. Можливості процесу.
2. Можливість системи (енергозбереження 10 %).
3. Методи експлуатації.
4. Управління і оптимізація системи.
5. Можливості, що виникають при обслуговуванні.
6. Контроль і планування використання енергії.

Можливості процесу. Необхідно детально розглянути існуючий процес і з'ясувати чи можна знайти ефективніші, і при цьому досить надійні альтернативи стисненому повітрю. Електричні дрилі, механічні конвеєрні установки, повітродувки зниженого тиску, вентилятори для охолоджування, і так далі. Механізм має бути в змозі працювати без вжитку стисненого повітря. Краще уникнути використання насосів з приводом від стисненого повітря, оскільки вони характеризуються дуже низькою ефективністю, хоча часто використовуються у вибухонебезпечних умовах. Насоси з електроприводом часто можуть використовуватися для таких ситуацій, за умови підбору потрібного вибухозахищеного виконання. На стадії проєктування і деталізації, слід детально розглянути устаткування і проаналізувати для нього рівні тиску і швидкості потоку. Якщо лише 20 % механізмів вимагають тиск повітря на рівні

7 бар, а останні вимагають нижче 6 бар, тоді, можливо, має сенс встановлювати окремий компресор для вищого тиску. При використанні 7 бар замість 6 бар споживається на 7% більше енергії. Тому важливо вивчити можливість використання системи з двома рівнями тиску. Вони можуть бути марнотратні з тих же причин, які описані вище. Рівень споживання електрики нагрівачами також можна регулювати. Електричні підігрівачі також можуть перепалювати абсорбент, і стати причиною засмічення внутрішніх фільтрів, що призводить до значних падінь тиску. Деякі нові сушарки абсорбції використовують теплоту від додаткового охолоджувача компресора для сушки абсорбенту, і також можуть бути дуже ефективні. Охолоджувальні сушарки також є ефективними. Також важливо, яким чином здійснюється управління. Вимірники точки роси дозволяють економити енергію, оберігаючи від пересушування повітря. Додатковий охолоджувач і приймач збирають більшу кількість вологи, ніж сушарка, і мають бути оснащені автоматичними продувальними вентилями, а не ручними продувальними вентилями, які втрачають велику кількість стисненого повітря, і, можливо, мастила при продуванні. Вологість повітря часто викликає корозію в системі трубопроводів, особливо розташованих на відкритому повітрі. Сушарки можуть запобігати корозії в системі трубопроводів і іншому устаткуванні і таким чином запобігати витокам повітря.

Методи експлуатації. Щоб обмежувати витоки повітря, на усіх зовнішніх гілках трубопроводу встановлюють стопорні клапани. Вони можуть бути підключені і управлятися системою енергоменеджменту.

Температура повітря в зоні повітрозабірника має бути як найнижча. Це підвищує ККД компресора, оскільки за одиницю енергії стискається більша кількість повітря. Холодильники попереднього охолодження для припливного повітря, вимагають ретельної оцінки, щоб переконатися, що досягається загальне підвищення ефективності. Випробування коефіцієнта витоку повітря, використовуючи метод pump up down "накачування - спуску повітря" також

потрібні. Витоки можуть складати 40 % поточних витрат на установку. Зовнішня система трубопроводів особливо схильна до витоків повітря унаслідок корозії. Сушарки можуть дещо поліпшити ситуацію, але має сенс розглянути варіант установки пластмасової системи трубопроводів. Перш ніж купувати новий компресор, слід досліджувати міру витоків повітря. Ліквідація витоків часто може привести до отримання заданої додаткової місткості.

2.2 Управління та оптимізація системи. Засоби управління компресором. Встановлення послідовності підключення

Придбання ефективних компресорів - це тільки частина завдання, але якщо усі вони виконуватимуть роботу у власному режимі, незалежно від того, в якому режимі працюють інші, тоді можливості збереження енергії, будуть загублені. Встановлення послідовності підключення компресорів гарантуватиме, що тільки необхідна кількість компресорів покриває навантаження. Для поршневих компресорів також можна досягти деякого розвантаження за рахунок регулювання машини. Важливо переконатися, що вибрана система управління не приведе до завищення діапазону робочого тиску. Наприклад, перший компресор включається при 90 PSI (фунтів на квадратний дюйм), другий при 100 PSI і третій при в 115 PSI. Діапазон тиску - 15 PSI, тобто майже 1 бар. Це призводить до втрати енергії.

Система управління, грунтована на прогнозованому або на чергованому перемиканні компресорів призводить до досягнення діапазону тиску на рівні від 3 до 5 PSI, і забезпечує збереження енергії.

Засоби автоматизації включення/виключення також дають добрі результати. Завдяки м'яким запускам можна досягти збільшення числа пусків в

годину, що може бути особливо корисно для систем з чергованим підключенням. Для покриття загострених пікових навантажень має сенс використати компресори з приводами з регульованою швидкістю. Розмір ресивера має бути досить великим, щоб уникати занадто частого включення/виключення компресора.

Необхідно проводити випробування коефіцієнта витоку повітря, використовуючи метод pump up down (накачування - спуску повітря). Витоки можуть складати 40 % поточних витрат на установку. Витоки відбуваються не лише в системі трубопроводів, але також і у внутрішніх ущільненнях пресів, молотів, що падають, різних інструментів і клапанів.

Моніторинг і планування споживання енергії. Компресори - великі споживачі енергії, і тому слід встановлювати для них окремі вимірники енергоспоживання. Для великих установок слід встановити вимірники потоку повітря.

Діафрагмові витратоміри характеризуються низькими стосунками " пониження"(bad turn down ratio) і тому забезпечують точні виміри тільки для одного рівня витрати. Не має сенсу використовувати один вимірник, що охоплює декілька споруд, коли є потреба перевіряти робочі характеристики або витоки повітря.

Пропозиція по установці захисту по протоці охолоджувальної рідини на аміачних холодильних установках (АХУ) (рис 2.1).

Холодильний агрегат являє собою єдину конструкцію, до складу якої входять:

- компресор,
- електродвигун,
- нагнітальний трубопровід,
- конденсатор,
- ресивер.

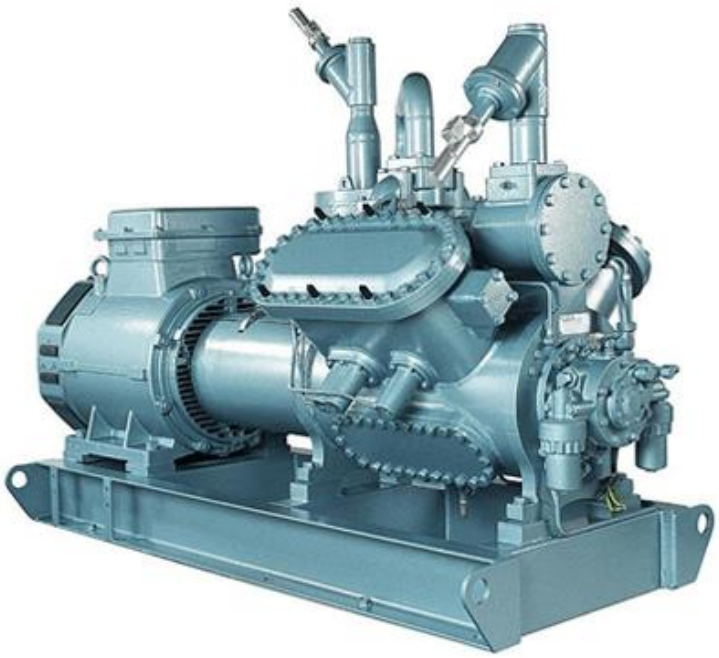


Рисунок 2.1 - Аміачна холодильна установка “Праймхолод” [4]

На компресорах існують шість захистів:

- ДМ (тиск мастила);
- ДН (тиск нагнітання);
- ДВ (тиск всмоктування);
- ТН (температура нагнітання);
- ТМ (температура олії) висока;
- ВЖЕ (рівень рідини).

У системі аварійних захистів компресора необхідно включити ще один параметр - протоку охолоджувальної рідини компресора. Для цього слід виконати такі вимоги:

- встановити на кожен компресор реле протоки типу РПИ- 20(або аналогічний);

- підключити реле протоки в систему захисту кожного компресора А- 80 (або аналогічне).

Виконання вище викладених заходів приведе до безаварійної експлуатації АХУ.

Стиснене повітря в якості енергоносія має істотний недолік - неекономічність за витратами первинної енергії внаслідок низького коефіцієнта корисної дії компресорних установок і повітровикористовуваного устаткування, значних втрат в розподільних мережах і устаткуванні. Крім того, застосування стисненого повітря зв'язане з порівняно великими капітальними витратами і експлуатаційними витратами на його виробництво і розподіл, підвищеною шумністю і вібрацією, що часто перевищують допустимі норми.

Тому стиснене повітря слід використати там, де застосування інших енергоносіїв менш економічне або неможливе. Сфери застосування стисненого повітря на підприємстві мають бути питаннями першорядної ваги, оскільки в загальному балансі споживання електроенергії на вироблення стисненого повітря витрачається (55-60 %) електроенергії і є резерви її економії при виробництві і використанні стисненого повітря. При експлуатації компресорних станцій необхідно дотримуватися вимог технічних умов заводів-виробників для компресорів.

Компресорні станції загального призначення.

Устаткування компресорне. Правила експлуатації. Рекомендації по підвищенню техніко-економічних показників.

Виконання вимог дозволить забезпечити:

- поліпшення якості експлуатації компресорного устаткування;
- підвищення ефективності роботи компресорних станцій;
- недотримання вимог веде до зниження ефективності роботи компресорів.

Всмоктуючий фільтр.

Всмоктуване компресорами повітря окрім водяної і масляної пари містять ще і механічні домішки у вигляді пилу, піщинок та ін., попадання яких в

компресор веде до швидкого зносу лопаток відцентрових компресорів, порушенню теплового режиму, зниженню продуктивності, збільшенню витрати електроенергії на вироблення стисненого повітря. Для очищення всмоктуваного повітря від пилу встановлюються фільтри. Всмоктуючі фільтри компресорного устаткування відносяться до третього класу очисників повітря, відповідно до вимог якого вони повинні уловлювати пил з частками 10 мк і забезпечувати міру очищення повітря не менше 60 %. В процесі експлуатації в повітряних фільтрах накопичується пил, збільшується їх опір, знижується міра очищення всмоктуваного повітря, що негативно позначається на довговічності, надійності і економічності компресорної станції. Розрахунок і досвід показали, що зі збільшенням опору у всмоктуючому фільтрі на 100 Па (10 мм. вод. ст.) продуктивність компресора знижується на 0,1 %, а питома витрата при цьому збільшується на 0,05 %. Для можливості спостереження за станом всмоктуючого фільтру і вжиття своєчасних заходів по його очищенню або заміні, він має бути обладнаний приладами контролю опору. Вимір величини аеродинамічного опору (перепаду тиску) у всмоктуючому фільтрі здійснюється рідинними дифманометрами, тягомірами, тягонапоромерами.

Для контроля стану і своєчасної заміни матеріалу, що фільтрує, необхідно встановити на усіх всмоктуючих фільтрах прилади контролю. Можливо встановити рідинний тягонапоромер типу ТНЖ-Н з межами виміру 0-160 мм вод.ст. (рис 2.2). Клас точності - 1,5. Робоча рідина - етиловий спирт ТУ 25.11.918-81. Можливо застосувати і сучасні аналоги.

Тягонапоромер рідинний з похилою трубкою ТНЖ-Н призначений для вимірювання надлишкового тиску, негативного надлишкового тиску і для вимірювання різниці тисків не агресивних до сталі і поліетилену газів, в закритих опалювальних приміщеннях з штучною і природною вентиляцією.



Рисунок 2.2 - Рідинний тягонапоромер типу ТНЖ-Н

Тягонапоромер ТНЖ-Н являє собою вимірювальний прилад, в якому вимірюваний тиск або розрядження врівноважується тиском стовпа рідини в похилій трубці.

Технічна характеристика приладу:

- межа вимірювання тягонапоромера:

0 - 250Па (25кгс/м^2)

0-400Па (40кгс/м^2)

0-630Па (63кгс/м^2)

0 - 1000Па (100кгс/м^2)

0 - 1600Па (160кгс/м^2)

- робоча рідина-спирт етиловий технічний (гідролізний) марки А щільністю 0,85 г-см^3 при температурі 20С;

- ємність однієї заливки не більше 40см^3;

- температура експлуатації від плюс 5 град. до плюс 50^{0}С при відносній вологості не більше 80 відсотків;

- клас точності-1,5;

- маса тягонапоромера не більше 1,1 кг;

- габаритні розміри тягонапоромера, не більше 42х111х431 мм.

При вимірюванні різниці тиску статичний тиск повинен бути не більше 10.000 Па.

Підтримка оптимальних температурних режимів при виробленні стисненого повітря є найважливішою і найбільш важко досяжною умовою експлуатації компресорів. Для відведення тепла, що утворюється при стискуванні повітря в компресорах, застосовується водяна система охолодження.

2.3 Водопідготовка і водопостачання

Вода, що поступає на охолодження в компресорні установки повинна мати карбонатну жорсткість (тимчасову) не більше 2,85 мг-экв/кг.

Карбонатна жорсткість води характеризується присутністю в ній бікарбонатів кальцію і магнію, тобто $Ca(HCO_3)$ 2 і $Mg(HCO_3)$ 2. Інакше її називають тимчасовою жорсткістю, оскільки ці солі при нагріванні води розкладаються і випадають в осад у вигляді карбонату кальцію і гідроокису магнію. Карбонати калію і гідроокису магнію випадають в осад на поверхнях повітроохолоджувачів і погіршують теплообмін.

Некарбонатна жорсткість води характеризується в ній будь-яких інших солей кальцію і магнію, наприклад $CaCl_2$, $MgCl_2$, $CaSO_4$, $CaSiO_3$. $MgSiO_3$ та ін. Інакше некарбонатну жорсткість називають постійною жорсткістю. Загальна жорсткість води дорівнює сумі тимчасової і постійної жорсткості.

Від якості води, що подається на охолодження, залежить періодичність очищення поверхонь теплообміну повітроохолоджувачів. Частіші очищення

поверхонь теплообміну від відкладень накипу механічним або хімічним способом скорочують терміни служби трубних пучків повітроохолоджувачів.

Контроль параметрів роботи компресорних установок.

Для об'єктивної оцінки кількісних і якісних характеристик роботи, як окремих компресорних установок, так і усієї компресорної станції в цілому, для визначення їх технічного стану і своєчасного усунення неполадок, потрібний постійний контроль і реєстрація параметрів.

Показання приладів контрольованих параметрів повинні вноситися в журнал обліку роботи компресора: після пуску; через встановлені інструкцією терміни, але не рідше, ніж через дві години роботи; перед зупинкою компресора. Застосовуються як показуючі, так і реєструвальні прилади.

Журнал обліку роботи компресорних установок і контрольованих параметрів повинен щодоби перевірятися і підписуватися особою, відповідальною за безпечну експлуатацію компресорної установки.

Для контролю за економічною і безпечною роботою компресорних установок вони мають бути укомплектовані контрольно-вимірювальними приладами:

- манометрами, встановленими після кожного ступеня стискування і на лінії нагнітання після компресора, а так само на повітрозбірниках;

- термометрами або іншими датчиками для виміру температури стисненого повітря, встановленими на кожному ступені компресора, після проміжних і кінцевих повітроохолоджувачів, води на вході і на виході з проміжних і кінцевих повітроохолоджувачів.

Відповідно, серед усіх заходів, що дозволяють підвищити ефективність роботи компресорного устаткування, необхідно приділити особливу увагу наступним напрямам :

- зменшення витоку повітря;

- пониження системного тиску;

- установка засобів управління холостого ходу;
- секціонування компресорів;
- скорочення машинного часу.

2.4 Розрахунок енергоспоживання компресорним обладнанням

На меблевій фабриці встановлено два компресори та два осушувача, потужність яких нам відома з таблиці 1.2. Річне фактичне енергоспоживання розраховують по формулі:

$$W = N \cdot P \cdot T, \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (2.1)$$

де Р – потужність компресора, кВт;

N - кількість компресорів на виробництві;

Т - річне число годин роботи компресора.

Компресорів:

$$W = 2 \cdot 18 \cdot 5902 = 212472, \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Осушувачів:

$$W = 2 \cdot 37 \cdot 5902 = 436748, \quad \text{кВт} \cdot \text{год}.$$

Споживання базового варіанту. Розрахунок споживання повітря. Хронометруванням експериментально визначаємо найменше значення t - час(с), за який тиск в ресивері падає від максимального до мінімального(час між зупинкою і включенням компресора).

Розраховуємо реальне споживання повітря по формулі:

$$G = 60\ V\ DP / t\ Кпр, \quad (2.2)$$

V - об'єм ресивера(л);

DP - діапазон регулювання тиску в ресивері (хв. значення - 2 бар);

Кпр - коефіцієнт продуктивності компресорної голівки (для одноступінчастих - 0,65, для двоступінчастих - 0,75).

$G = 60 \cdot 300 \cdot 2 / 400 \cdot 0,7 = 63\ м^3/год$

Визначення об’єму ресивера:

$$V= G\ t\ Кпр / 60\ DP,\ л \quad (2.3)$$

$$V= 63 \cdot 400 \cdot 0,75 / 60 \cdot 2=630\ л.,$$

де DP – діапазон регулювання тиску в ресивері (мін. значення - 2 бар);

t – допустимий час (сек), за який тиск у ресивері падає від максимального до мінімального.

Розрахунок теоретичної продуктивності компресора (за входом):

$$Qвх = G \cdot b,\ л/хв, \quad (2.4)$$

де b – коефіцієнт запасу продуктивності, що залежить від класу компресора та максимального тиску, (для промислових при 8 бар b=1,3).

$$Qвх = 63 \cdot 13 = 81,9\ л/хв.$$

За розрахованими характеристиками обираємо компресор Dali (рис. 2.3,2.4) з вбудованим частотним перетворювачем (виробник-Китай).

- Модель: DL-5/8-F
- Потужність: 30кВт
- Продуктивність: 5м^3/хв



Рисунок 2.3 – Загальний вигляд компресора Dali DL-5/8-F

Компресор з частотним перетворювачем, підтримує постійний робочий тиск в системі з точністю до 0,1 бар і негайно реагує на зміну тиску в мережі. Адже кожен зайвий бар тиску нагнітання збільшує електроспоживання компресора на 6-8 %.

Переваги компресора:

- рівень стискування не перевищує необхідного (перевищення міри стискування на 1 бар = близько 8 % перевищення енерговитрат);

- відсутність холостого ходу фаз виключає зайве енергоспоживання;

- плавний пуск виключає пікові навантаження по струму;

- автоматичне налаштування споживання повітря виключає втрати енергії;

- мінімальні навантаження на механічні частини дозволяють понизити витрати на обслуговування і продовжити термін служби компресора.

Повітряно-гвинтовий компресор оснащений такими моделями контролерів: 100LCD (розміри: 164мм × 102мм) або 200 LCD (250мм × 150 мм).

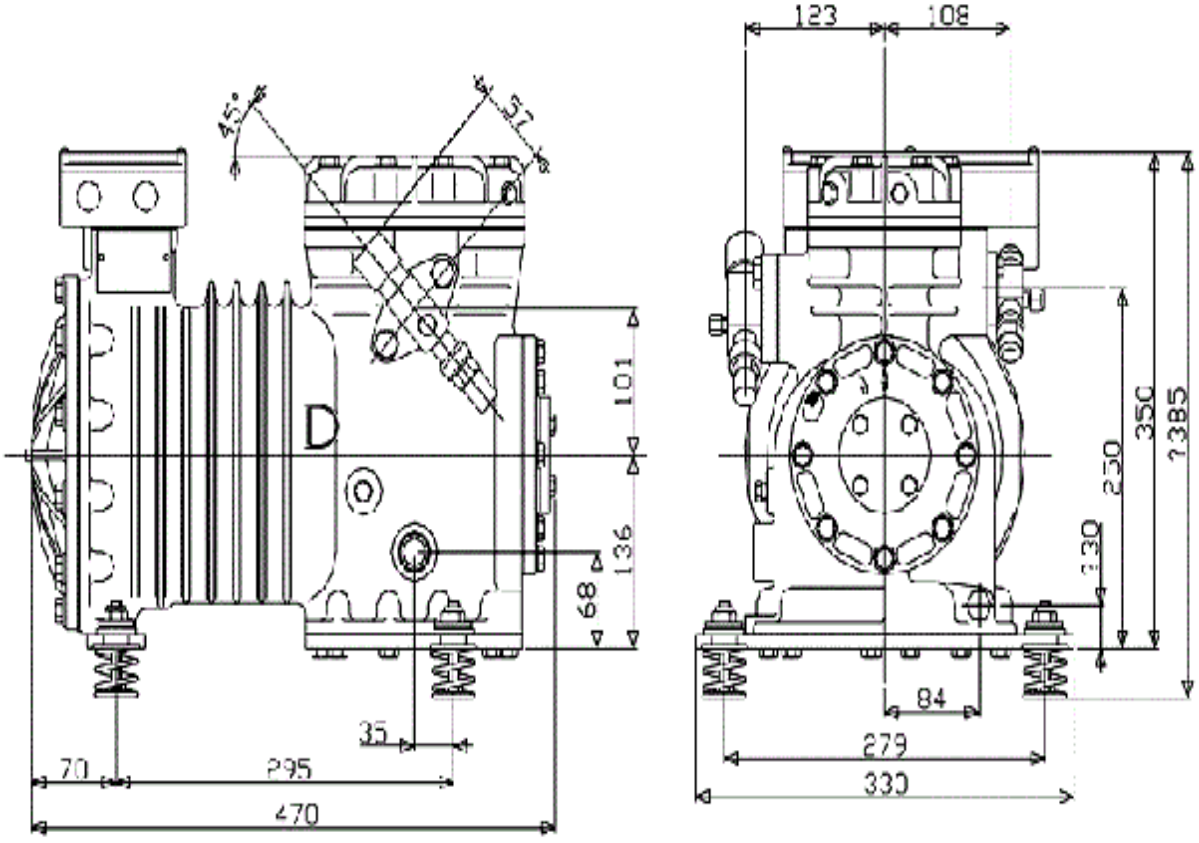
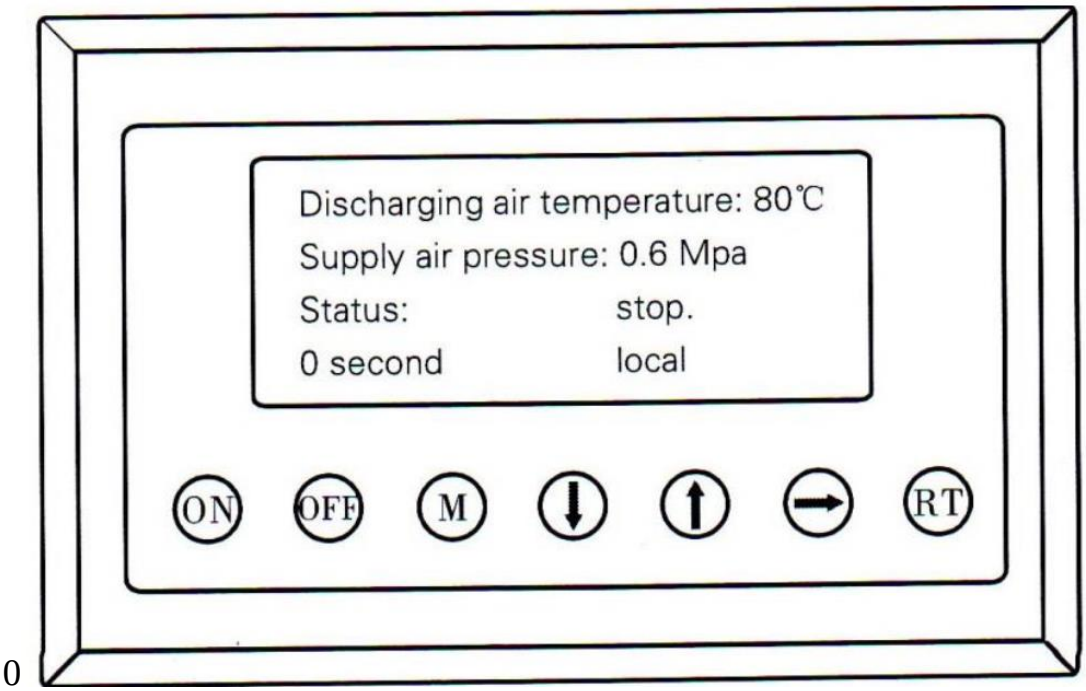


Рисунок 2.4 - Схема компресора Dali DL-5/8-F

На рис.2.5 та 2.6 наведені контролери.



0

Рисунок 2.5 Контролер модель 100LCD

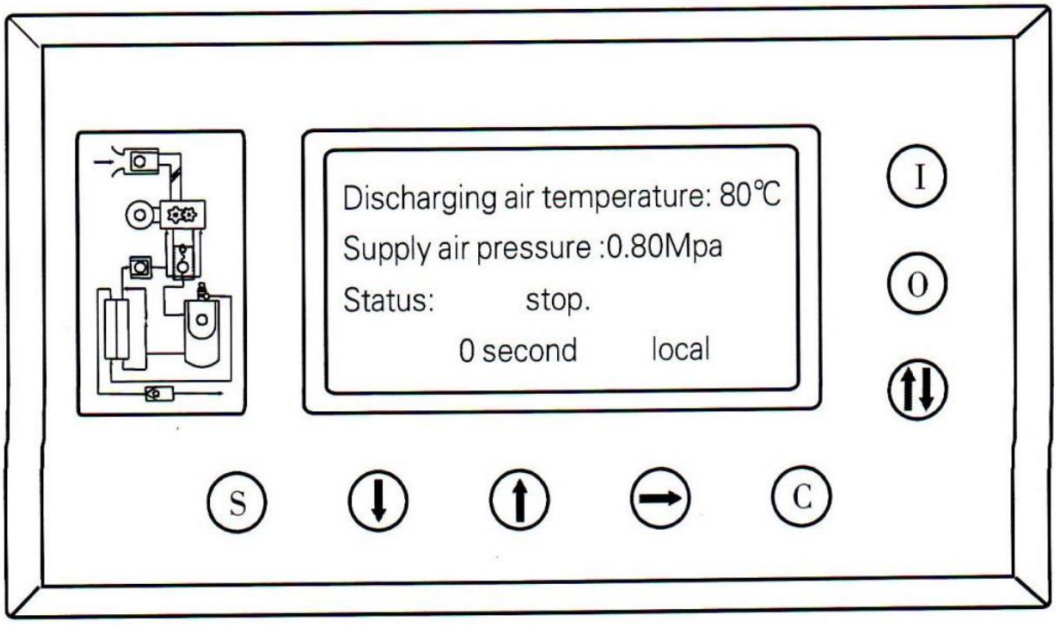


Рисунок 2.6 Контролер модель 200 LCD

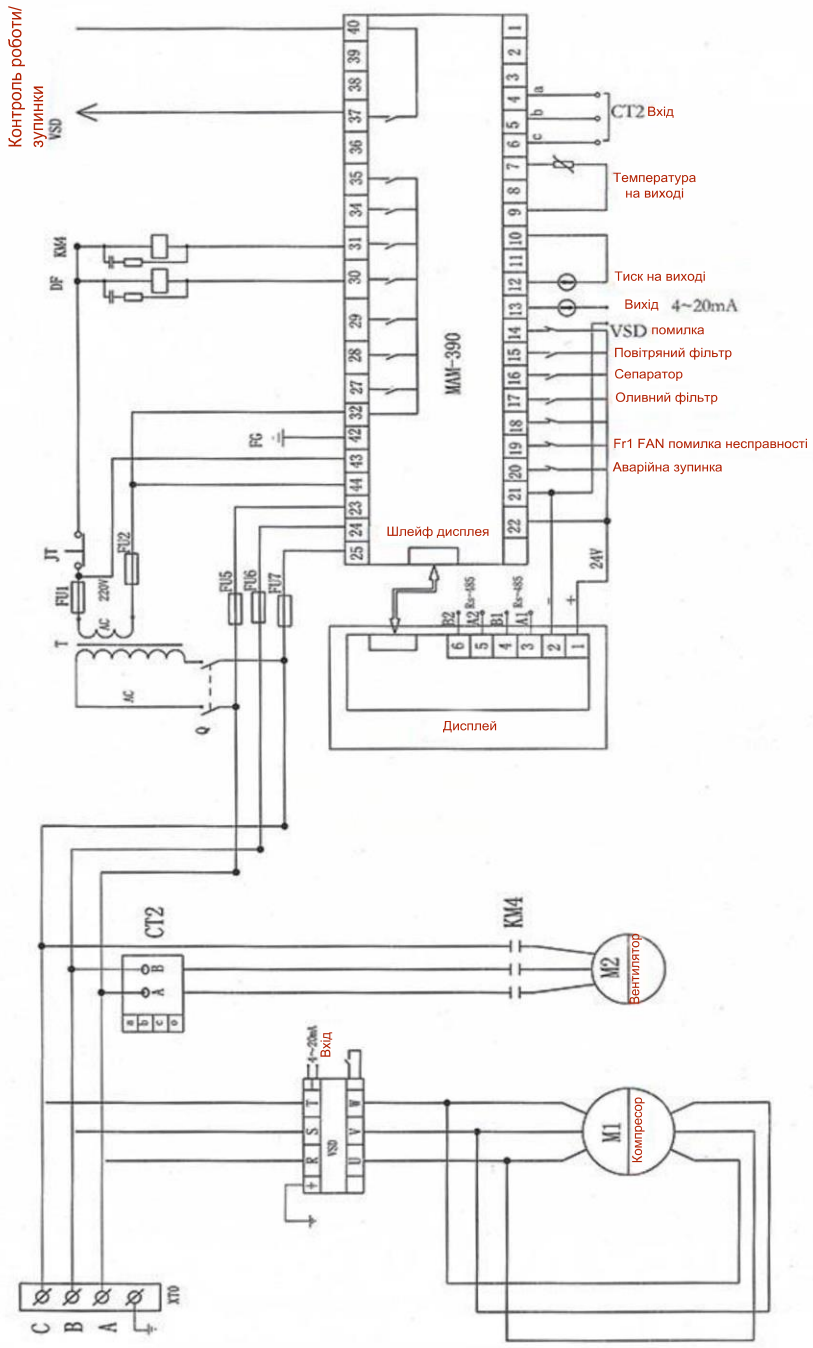


Рисунок 2.7. Принципова електрична схема компресора Dali з частотним перетворювачем

І, нарешті, найвагоміший внесок в економію електроенергії - точна відповідність продуктивності компресора з частотним приводом реальної потреби в стисненому повітрі в даний момент часу (рис.2.8)

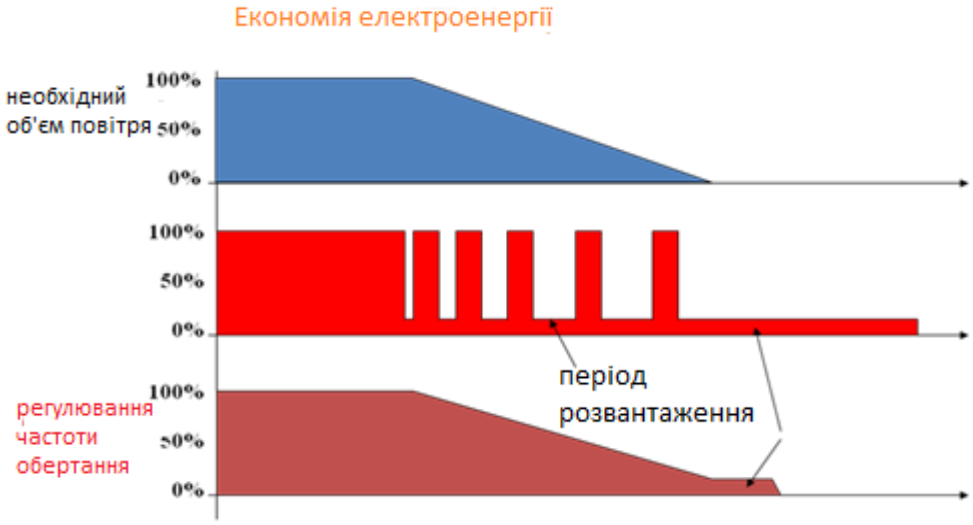


Рисунок 2.8 – Економія електроенергії в залежності від частоти обертання

Розрахуємо економію електроенергії:

$$\Delta W = k \cdot \sum Wi \text{ , кВт} \cdot \text{ год ,} \qquad (2.5)$$

де k – мінімальний коефіцієнт економії;

$\sum Wi$ – сума енергоспоживання обладнанням базового варіанту.

$$\Delta W = 0{,}19 \cdot (212472 + 436748) = 123351{,}8 \text{ , кВт} \cdot \text{ год.}$$

Для розрахунку економії ми взяли найнижче сподіване значення економії (19 %). Проте, з останнього графіку ми можемо спостерігати, що в середньому економія електроенергії складе 24 %. Також необхідно врахувати, що початкові інвестиції на проєкт установки компресора з частотним приводом істотно вище, ніж на проєкт установки звичайного компресора. Щоб окупити цю різницю

потрібен час. В середньому при рваному графіку споживання стисненого повітря термін окупності проєкту установки компресора з частотним приводом може складати від 12 до 36 місяців.

На підприємстві планується заміна двох компресорів на один компресор з вбудованим частотним перетворювачем.

2.5 Техніко-економічне обґрунтування встановлення компресора з частотним перетворювачем

Базовий варіант

Вартість електроенергії, що споживається компресорами та осушувачами в існуючому варіанті:

$$В_{е/е} = (W_к + W_о) \cdot Т, \text{ грн}, \quad (2.6)$$

$$В_{е/е} = (212472 + 436748) \cdot 6{,}794 = 4409502{,}24 \text{ грн}.$$

Встановлення компресора з частотним перетворювачем

Вартість електроенергії, що споживається новим компресором:

$$Вк_{е/е} = 4409502{,}24 \cdot 0{,}81 = 3571696{,}81 \text{ грн}.$$

Капітальні вкладення на встановлення компресора:

$$К_{кч} = 857394, \text{ грн} \quad (2.7)$$

Щорічна економія витрат при встановленні компресора:

$$Е_{кч} = В_{е/е} – Вк_{е/е} – С_{е}, грн, \quad (2.8)$$

$$Е_{кч} = 4409502,24\text{-}3571696,81=837805,43 \text{ грн.}$$

Простий термін окупності знаходимо за формулою:

$$Т_{ок(к)} = К_{к}/Е_{к} ,років , \quad (2.9)$$

$$Т_{ок} = 857394/837805,43= 1,02 \text{ роки.}$$

3 ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В СИСТЕМАХ ОСВІТЛЕННЯ

3.1 Розрахунок енергоспоживання існуючою системою освітлення

Для оцінки енергоспоживання і розрахунку потенціалу економії електроенергії необхідно розрахувати показники енергоспоживання системи освітлення.

На підставі даних обстеження розраховуємо встановлену потужність:

$$Рі = Рл \cdot Кпра \cdot N, Вт, \quad (3.1)$$

де P_i - потужність освітлювальної установки і- го приміщення в обстежуваному об'єкті;

Кпра - коефіцієнт втрат в пускорегулювальній апаратурі освітлювальних приладів;

Рл - потужність лампи, Вт;

N - кількість однотипних ламп в освітлювальній установці і- го приміщення.

$$P = 105 \cdot 48 = 5040 \text{ Вт.}$$

Річне фактичне енергоспоживання розраховують по формулах:

$$W = \sum_{i=1}^{n} P \cdot T \cdot k[\text{кВт/м}^2], \quad (3.2)$$

де Р- річне споживання освітлювальними установками(ОУ) і- го приміщення;

Т - річне число годин роботи системи освітлення і- го приміщення;

k - коефіцієнт використання встановленої електричної потужності в ОУ і-го приміщення;

$$Wr = 2 \cdot 5{,}040 \cdot 8040 \cdot 0{,}8 = 64834{,}56 \text{ кВт/м}^2.$$

Питоме фактичне енергоспоживання розраховують по формулі:

$$\text{Wг.уд} = W\kappa / \sum_{i=1}^{n} Si, \qquad (3.3)$$

где $W_{г.уд}$ - річне фактичне енергоспоживання;

S_i - площа і-го приміщення у обстежуваному об'єкті.

$$W\text{г.уд} = 64834{,}56 \div 468 = 138{,}54 \text{ кВт/м}^2.$$

3.2 Покращення освітлення шляхом підвищення ККД існуючої системи освітлювання

Незадовільне природне освітлення як правило викликане наступними причинами:

- порушенням планувальних рішень, тобто скороченням розривів між будівлями і затінюванням сусідніми будівлями світлоотворів цехів;

- темним забарвленням супротивних будівель;

- відсутністю пристроїв для очищення повітря, що викидається в атмосферу (це призводить до забруднення території та зовнішньої поверхні скління);

Разом з технічними причинами обстеженням виявлений ряд недоліків в експлуатації освітлювальних установок в цехах ДСП.

Велика запиленість середовища і цехів на перше місце висуває завдання очищення світильників від пилу. За даними обстеження і опитувань, в деяких випадках очищення світильників не проводиться взагалі, в інших випадках проводиться тільки при заміні ламп, що перегоріли.

Освітлювальні установки цехів не відповідають проєкту, зважаючи на численні переробки власними силами цеху. Спостерігається відсутність або відключення світильників, передбачених проєктом, а також установка та підключення інших незапроєктованих світильників. Усі переробки не знаходять відображення в схемах освітлювальних мереж, що значно ускладнює правильну їх експлуатацію.

Головними причинами незадовільної експлуатації освітлювальних установок в цехах ДСП є:

- відсутність спеціального експлуатаційного персоналу, що займаються обслуговуванням систем освітлення;

- відсутність на підприємствах нормативів чисельності цього персоналу;

- відсутність графіків чищення світильників;

- недолік або повна відсутність пристосувань для обслуговування світильників (засобів доступу до світильників, пристосувань для їх чищення і тому подібне);

- відсутність зручного доступу до світильників встановлених на великій висоті;

- відсутність контролю за освітленістю;

- відсутність системи матеріального і морального заохочення за нормальний стан освітлювальних установок.

При проєктуванні систем освітлення в цехах ДСП слід:

- розробляти раціональні схеми розміщення світильників з урахуванням специфічних особливостей технологічного устаткування;

- передбачати в затінених місцях (робочі місця у формувальних машин, холодного і гарячого пресів, у сушарок та іншого громіздкого устаткування) місцеве освітлення або бічне світло;

- розробляти схеми освітлення на планах, де заздалегідь розміщене все технологічне, сантехнічне і інше устаткування, а також системи пневмотранспорту і трубопроводи;

- в кожен проєкт включати розділ, присвячений термінам очищення світильників залежно від характеристики приміщень за умовами забруднення.

Для поліпшення природного освітлення в приміщеннях цехів ДСП слід:

- при проєктуванні будівель строго враховувати світлокліматичне районування, не допускаючи повсюдного застосування(на півночі і на півдні) одних і тих же проєктів;

- застосовувати у будівельній практиці раціональні прийоми планування і забудови ділянок, що забезпечують дотримання нормативів по природному освітленню будівель;

- застосовувати скло великих розмірів ;

- застосовувати нові будматеріали, зокрема світлопрозорі обгороджування з нових скляних виробів, у тому числі для внутрішніх перегородок;

- максимально використати відбите світло від внутрішніх відбиваючих поверхонь, а також від супротивних будівель шляхом забарвлення у світлі тони;

- раціонально розміщувати робочі місця у технологічного устаткування відносно світлових отворів;

- для систематичного контролю за склінням передбачати підходи до зовнішньої і внутрішньої поверхні скління ліхтарів у верхній зоні вікон. При цьому рекомендується використовувати телескопічні підйомники і шарнірно важільні підйомники на спеціальному шасі;

- для механізованого очищення бічного скління від забруднення застосовувати пересувні пристрої по периметру даху з підйомною люлькою по усій висоті стіни;

- для кожного проєкту видавати підприємству терміни очищення скління залежно від характеристики приміщень за умовами забруднення.

Підвищення ККД існуючих освітлювальних установок унаслідок їх чищення.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) світильників – це відношення потоку, що виходить зі світильника, до потоку лампи.

Він характеризує втрати світлового потоку, які відбуваються в світильнику в процесі розподілу світла в потрібних напрямах. Втрати світлового потоку виникають із-за поглинання світла при віддзеркаленні від поверхонь в світильнику і пропусканні через світлотехнічні матеріали.

ККД найбільш досконалих світильників складає 80–86 %. Значення ККД менше 45–50 % для масових виробів є низьким і може бути виправдане лише спеціальними умовами. ККД безпосередньо впливає на необхідну кількість світильників для створення заданої освітленості, а значить на техніко-економічні характеристики освітлювальної установки (ОУ), тому на ККД необхідно звертати особливу увагу. ККД є важливим аргументом для пропозиції високотехнологічних світлових приладів.

На ККД впливають наступні чинники:

– коефіцієнти віддзеркалення відзеркалювальних поверхонь світильника. Чим менше матеріал поглинає світла, тим більше буде ККД світильника. Добре відзеркалювальні поверхні не завжди можуть бути дзеркальними. Існують матові фарби з коефіцієнтом віддзеркалення до 85 %, але відображають вони не дзеркально, а дифузно;

– коефіцієнти пропускання матеріалів. Навіть прозоре скло при пропусканні поглинає світловий потік;

– точність розрахунку і виготовлення оптичних елементів (відбивачів, розсіювачів, лінз).

При роботі світлових приладів в їх оптичних системах повинні бути якомога менше багатократних віддзеркалень світла. У ідеальному випадку кожен промінь світла повинен відбиватися або проходити через розсіювач одноразово, після чого виходити зі світильника в потрібному напрямі;

– технічний стан оптичної системи. На ККД дуже сильно впливає запилення, помутніння і старіння оптичних матеріалів. Тому при виборі світильника потрібно враховувати склад середовища, в якому він використовуватиметься. При запорошених, сирих, хімічно агресивних і інших важких середовищах слід пропонувати світильники, оптичні елементи яких захищені від цих дій.

Економія електроенергії в результаті технічного обслуговування (чищення) світильника визначається по формулі:

$$\Delta W_i = \Delta W_{Гі} \cdot k_{чі}, \quad кВт \cdot год \qquad (3.4)$$

де: $k_{чі}$ – коефіцієнт ефективності чищення світильників;

$$k_{чі} = 1 - (g_c + b_c \, x \, \mathbf{e}^{-(\frac{t}{t_c})}) \qquad (3.5)$$

де: g_c, b_c, t_c – постійні для заданих умов експлуатації.

t – тривалість експлуатації світильників між чищеннями.

$$k_{чі} = 1 - (0{,}95 + 0{,}02) = 0{,}03.$$

$$\Delta W_1 = 64834{,}56 \cdot 0{,}03 = 1945{,}04,\ \text{кВт·год}.$$

Підвищення ефективності використання відбитого світла.

Підвищення коефіцієнта віддзеркалення поверхонь приміщень на 20 % і більше (забарвлення в світлі кольори, миття) дозволяє економити 5–15 % електроенергії.

Ефективність даного методу залежить від більшого числа чинників: розмірів приміщення, коефіцієнта віддзеркалення поверхонь приміщення (розміщення фрамуг, коефіцієнта природньої освітленості (КПО), режимів роботи людей в приміщенні, світлорозподіл і розміщення світильників). Точнішого значення економії електроенергії можна набути на підставі світлотехнічного розрахунку методом коефіцієнта використання.

3.3 Способи автоматизації управління освітленням

Досягти як найповнішого і точнішого обліку наявності денного світла, так само як і обліку присутності людей в приміщенні, можна, застосовуючи засоби автоматичного управління освітленням [5-11]. Управління освітлювальним навантаженням здійснюється при цьому двома основними способами: відключенням всіх або частини світильників (дискретне управління) і плавною зміною потужності світильників (однаковим для всіх або індивідуальним).

До систем дискретного управлінні в першу чергу відносяться різні фотореле (фотоавтомати) і таймери. Принцип дії перших заснований на включенні і відключенні навантаження по сигналах датчика зовнішньої природньої освітленості. Другі здійснюють комутацію освітлювального навантаження залежно від часу доби по попередньо закладеній програмі. До

систем дискретного управління освітленням відносяться також автомати, оснащені датчиками присутності. Вони вимикають світильники в приміщенні через заданий проміжок часу після того, як з нього віддаляється остання людина. Це найбільш економічний вид систем дискретного управління, проте до побічних ефектів їх використання відноситься можливе скорочення терміну служби ламп за рахунок частих включень і виключень.

Системи плавного регулювання потужності освітлення по своєму пристрою дещо складніше. Принцип їх дії пояснює рис.3.1.

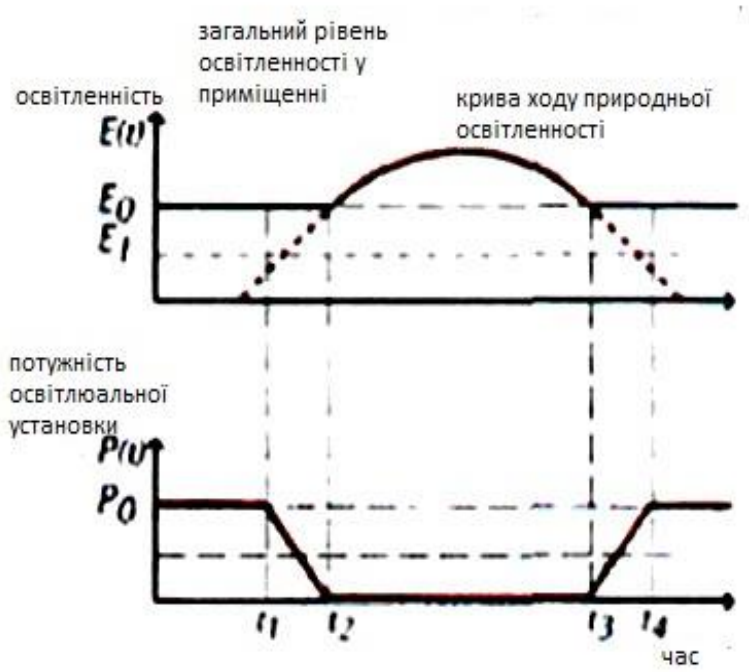


Рисунок 3.1 – Принцип дії системи плавного регулювання освітлення

У момент часу t_1 коли природне світло відповідає початковому рівню E_1 потужність світильників починає плавно знижуватися до моменту t_2, коли природнього світла повністю достатньо для забезпечення заданої освітленості (рівень E_0).

У момент t_3 початку зворотного зниження рівня денного світла до рівня E_1 починається плавне збільшення потужності освітлювальної установки.

У останнє десятиліття багатьма зарубіжними фірмами освоєно виробництво устаткування для автоматизації управління внутрішнім освітленням. Сучасні системи поєднують в собі значні можливості економії електроенергії з максимальною зручністю для користувачів.

Рисунок 3.2 демонструє залежність освітленості та потужності освітлювальної установки від часу. Верхній графік показує зміну рівня освітленості, а нижній — зміну потужності установки в залежності від доступного природного освітлення. Цей графік відображає принцип економії енергії шляхом автоматичного регулювання потужності освітлення залежно від рівня природного освітлення.

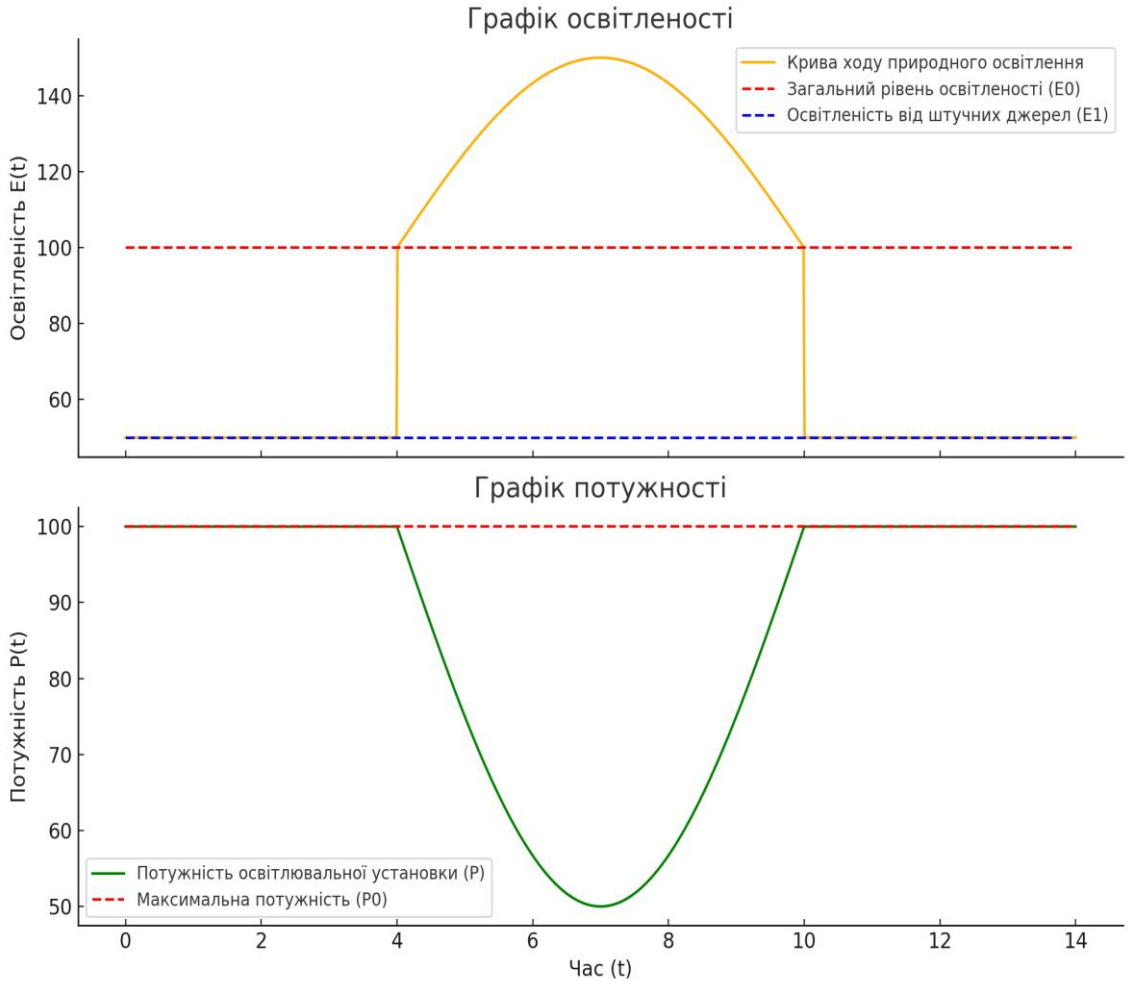


Рисунок 3.2 Залежність освітленості та потужності освітлювальної установки від часу

Системи автоматичного управління освітленням, умовно можливо розділити на два основні класи – так звані локальні і централізовані. Для локальних систем характерне управління тільки однією групою світильників, тоді як централізовані системи допускають підключення практично нескінченної кількості роздільно керованих груп світильників. У свою чергу, по охоплюваній сфері управління локальні системи можуть бути підрозділені на "системи управління світильниками" і "системи управління освітленням приміщень", а централізовані – на спеціалізованих (тільки для управління освітленням) і загального призначення (для управління всіма інженерними системами будівлі – опалюванням, кондиціонуванням, пожежною і охоронною сигналізацією і так далі).

Локальними системами управління освітленням приміщень є блоки, що розміщуються за порожнинами підвісних стель або конструктивно вбудовані в електророзподільні щити, системи цього типу, як правило, здійснюють одну функцію або їх фіксований набір. До числа цих функцій входить, наприклад, облік присутності людей і рівня природньої освітленості в приміщенні, а також робота з системами безпровідного дистанційного керування. Локальні "системи управління світильниками" в більшості випадків не вимагають додаткової проводки, а іноді навіть скорочують необхідність в прокладці проводів.

Конструктивно вони виконуються в малогабаритних корпусах, що закріплюються безпосередньо на світильнику або на колбі одній з ламп. Всі датчики, як правило, складають один електронний прилад, у свою чергу, вбудований в корпус самої системи. Цікаве рішення, запропоноване фірмою Crompton Lighting. У цій системі, названою "Intellect/MLS", світильники, обладнані датчиками, обмінюються між собою інформацією по проходах електричної мережі. За рахунок цього навіть у випадку, якщо в будівлі залишилася одна людина, світильники, що знаходяться на його шляху, залишаться включеними.

Централізовані системи управління освітленням, що найповніше відповідають назві "інтелектуальних", будуються на основі мікропроцесорів, що забезпечують можливість практично одночасного багатоваріантного управління значним (до декількох сотень) числом світильників. Такі системи можуть застосовуватися або тільки для управління освітленням, або також і для взаємодії з іншими системами будівель (наприклад, з телефонною мережею, системами безпеки, вентиляції, опалювання і сонцезахисних огорож). Централізовані системи видають сигнали, що також управляють, на світильники по сигналах локальних датчиків. Проте перетворення сигналів відбувається в єдиному (центральному) вузлу, що надає додаткові можливості вручну управляти освітленням будівлі. Одночасно істотно спрощується ручна зміна алгоритму роботи системи.

Для приміщень, що мають зони з різними умовами природнього освітлення, управління робочим освітленням повинне забезпечувати включення і відключення світильників групами або рядами у міру зміни природній освітленості приміщень.

У місцях, де потрібна підвищена зорова робота, рекомендується передбачати плавне або ступінчасте регулювання штучного освітлення залежно від освітлення природним світлом.

Існуючий асортимент автоматизованих систем управління освітленням (СУО) ділиться на три класи [13-16]:

– СУО світильника – проста малогабаритна система, що конструктивно є частиною світильника і що управляє тільки однією групою декількох довколишніх світильників.

– СУО приміщення – самостійна система, що управляє однією або декількома групами світильників в одному або декількох приміщеннях.

– СУО будівлі.

У освітлювальній установці, що розробляється, використане, як дискретне, так і плавне управління освітленням.

Дискретна система вимикає загальне освітлення за відсутності людей, система плавного освітлення підтримує освітлення на заданому рівні з урахуванням інтенсивності природнього освітлення.

По проїздах встановлюємо дискретні системи, вмикаючи/вимикаючи освітлення за наявності - відсутності руху у заданому периметрі.

На рис. 3.3 наведено співвідношення зекономленої електроенергії до загального обсягу споживання електроенергії при використанні методів управління освітленням.

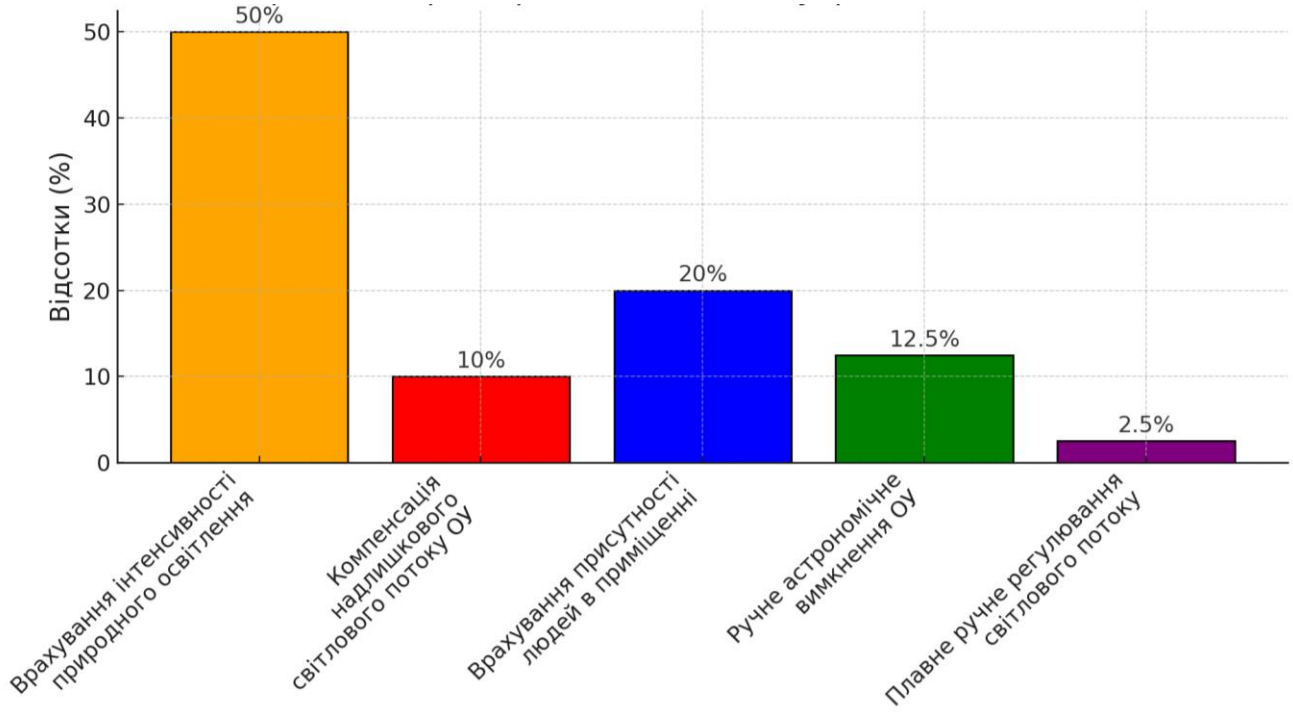


Рисунок 3.3 - Співвідношення зекономленої електроенергії до загального обсягу споживання електроенергії при використанні методів управління освітленням

3.4. Алгоритм автоматизації освітлення

Ініціалізація системи:

1. Увімкнення контролера.

2. Перевірка зв'язку з датчиками та світильниками.

Моніторинг природного освітлення:

1. Фотодатчик вимірює рівень освітлення (E_природне).

2. Якщо E_природне > E_мін (наприклад, 300 люкс), зменшити інтенсивність штучного освітлення до мінімуму.

Виявлення руху:

1. Датчик руху перевіряє наявність людей.

2. У разі руху освітлення вмикається на попередньо заданий рівень.

Плавне регулювання:

1. Якщо E_природне < E_мін, світильники поступово підвищують яскравість до досягнення E_заданого (наприклад, 500 люкс).

Вимкнення освітлення:

1. Якщо протягом t_таймер (наприклад, 5 хвилин) рух не зафіксовано, освітлення вимикається.

Режим енергозбереження:

1. У нічний час або у неробочий період система вимикає всі світильники, за винятком аварійного освітлення.

Блок-схема алгоритму автоматичного освітлення представлена на рисунку 3.4.

У якості прикладу представлено також СУО від компанії Wire Board (рисунок 3.5.)

Використовується наступне обладнання:

1) контролер Wiren Board 6 — управління системою освітлення;
2) модуль реле WB-MR6C v.2 — управління світильниками;

3) диммер WB-MDM3 — управління яскравістю освітлення;

4) диммер світлодіодної стрічки WB-LED — управління кольором і яскравістю декоративної підсвітки;

5) універсальний датчик WB-MSW v.3 — контроль за рухом і освітленістю;

6) блок живлення на 24 В LI60-20B24PR2 — живлення контролера та модулів.

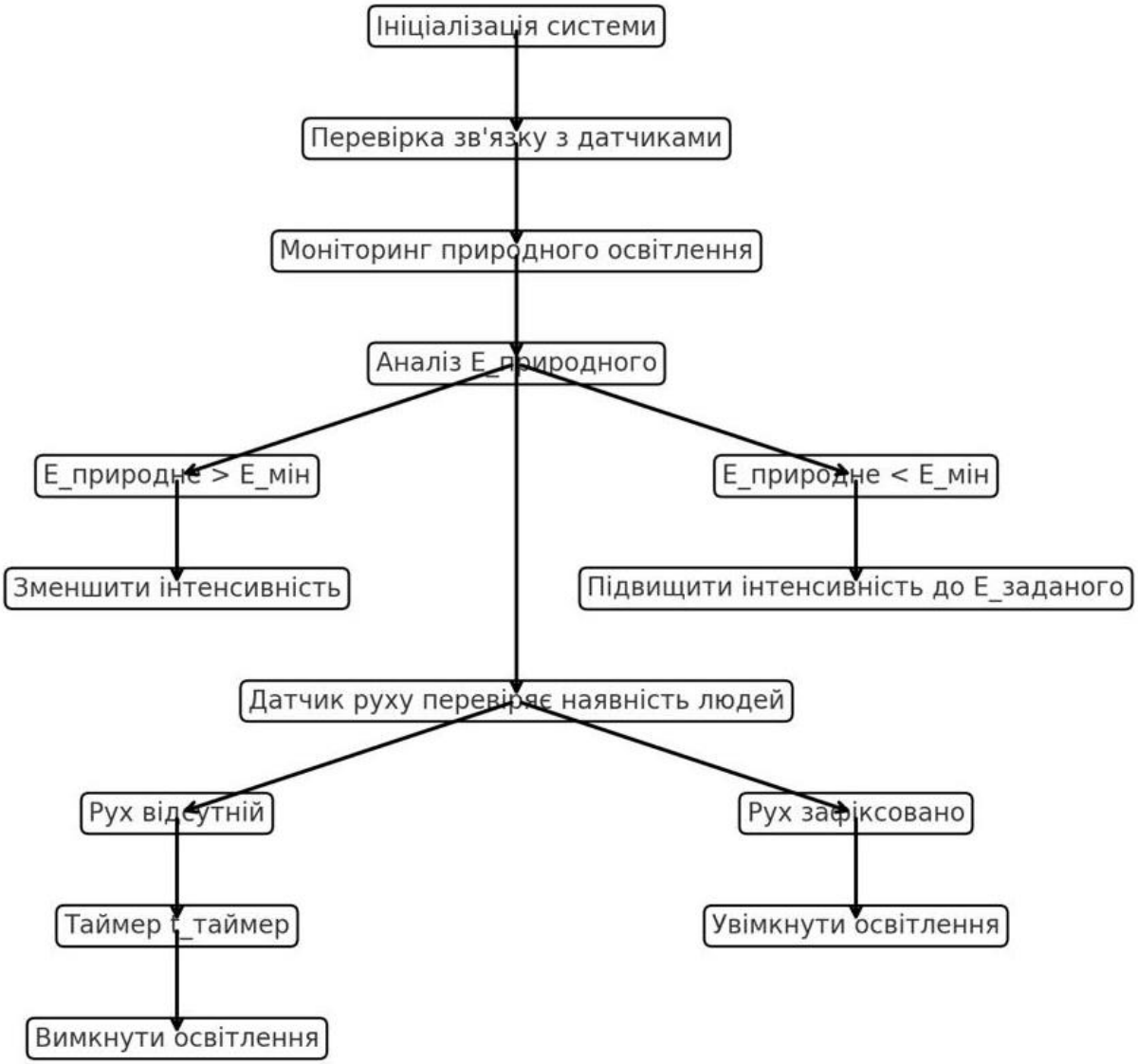


Рисунок 3.4 Блок-схема алгоритму автоматичного освітлення

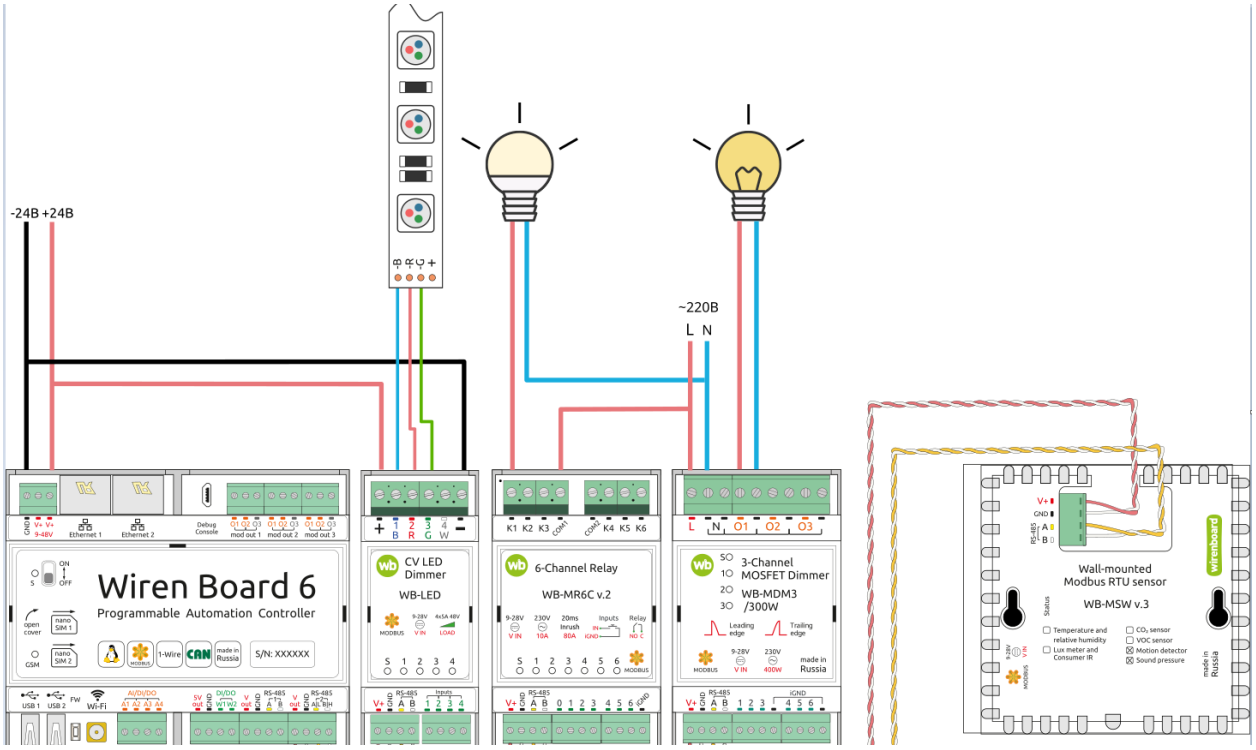


Рисунок 3.5. Приклад СУО від компанії Wire Board

3.5 Вибір системи автоматизації управління освітленням

Розглянемо варіанти автоматизованих СУО для управління освітленням. Однією з відомих марок СУО є серія систем Lumate компанії Zumtobel Licht. До автоматизованих СУО відноситься система Luxmate Daylight. Система управління Luxmate Daylight може працювати як в ручному, так і в повністю автоматичному режимі. Вона регулює яскравість освітлювальних приладів залежно від потоку денного світла, що поступає в приміщення, і економить до 60 % електроенергії.

Система Luxmate Daylight комплектується датчиком денного світла, сигнал якого поступає на багатофункціональний блок управління. Цей вузол через електронні пускорегулюючі апарати управляє трьома групами світильників.

Коли за вікном достатньо ясно, система відключає найближчий до вікна ряд світильників, зменшує світловий потік світильників середнього ряду на 75 % і дальнього ряду - на 50 %. Ці параметри встановлюються користувачем індивідуально для кожного ряду, виходячи з умов роботи, заповнення приміщення технологічним устаткуванням.

Коли за вікном починає темніти, система плавно збільшує яскравість світильників, щоб освітленість робочих місць залишалася постійною. Відбувається це непомітно для присутніх на ділянці людей.

Принциповою особливістю сімейства СУО Luxmate є цифровий принцип побудови ланцюгів. Він полягає в тому, що передача інформації між частинами СУО відбувається тільки в цифровій формі за допомогою інтерфейсного протоколу BSI (на відміну від більшості традиційних систем, де основним сигналом регулювання є аналогова напруга від 0 до 10 В постійного струму). При цьому передача сигналу, що управляє, в ПРА типу РС-А здійснюється в 8-бітовому коді по спеціальній двопровідній шині.

Подальшу можливість економії електроенергії надають інфрачервоний датчик руху, що відключає світильники, коли в приміщенні нікого не немає, і таймер, запрограмований, наприклад, на відключення світильників під час обідньої перерви. По оцінках виробника економія, що досягається при цьому, досягає 75 %.

Наочний приклад роботи системи Lumate показаний на рис. 3.6.

Технічні характеристики стельового фотодатчика LSD:

Стельовий датчик призначений для реєстрації денного світла, що потрапляє через вікно приміщення; з вбудованим повзунковим перемикачем поряд з клемою для перемикання на вищу чутливість (0 - 1000 люкс або 0 - 5000 люкс); для підключення до блоків управління із залежністю від денного світла; застосування стандартних монтажних матеріалів.



Рисунок 3.6 – Приклад роботи СУО Luxmate

З'єднання виконуються за допомогою різьбових клем, корпус з незаймистого полікарбонату, без галогену, придатний для монтажу на стелі, ступінь захисту IP20, клас захисту II, допустима температура оточуючого середовища від 0 до 50°C.

Технічні характеристики багатофункціонального блоку управління DALI/DSI:

– діммірування трьох груп світильників;

– автоматичне виявлення приладів управління DALI/DSI/dimIsave, без змішаного режиму, максимально 50 DSI/dimIsave або 25 DALI на канал;

– модульний контролер освітлення із змінним набором функцій;

– управління залежно від денного світла з функцією ED-EYE;

– контроль присутності за допомогою ED-SENS;

– безпровідне управління за допомогою IRTOUCH і ED-IR/ED-SENS;

– точка управління Circle (3 сценарії, 2 групи) з ED-CSx/ED-CCx;

– підключення трьох незалежних звичайних кнопок через ED-SDED2 (настроюється поворотним вимикачем: три світлові сценарії або три групи);

– один вихід реле для відключення напруги приладів управління;

– введення в експлуатацію (адресація) не потрібне (режим Broadcast);

– кріплення до 35 мм ковпачкової шини EN.

3.6 Розрахунок економії електроенергії в системі освітлення за рахунок автоматизації

Автоматизація управління освітленням забезпечує гнучкість управління освітлювальними мережами, що дозволяє відключати окремі ділянки або зменшувати освітленість у разі потреби.

По досвіду впровадження систем автоматизації, економію від даного методу можна визначити за формулою:

$$\Delta W_i = W_r \cdot (k_{эai} - 1)\ ,\ кВт \cdot год, \qquad (3.6)$$

де: $k_{эai}$ – коефіцієнт ефективності автоматизації управління освітленням, яке залежить від рівня складності системи управління.

У таблиці 3.1 представлені значення $к_{эai}$ – для підприємств і організацій із звичайним режимом роботи.

З вище перерахованих способів отримання енергозбереження в освітленні вибираємо підвищення ефективності використання електроенергії за рахунок автоматизації управління освітленням.

Таблиця 3.1 Значення коефіцієнта ефективності автоматизації управління освітленням

№ з/п	Рівень складності системи автоматичного управління освітленням	$k_{эаі}$
1	Контроль рівня освітленості і автоматичне включення і виключення системи освітлення при критичному значенні	1,1–1,15
2	Зонне управління освітленням (включення і виключення освітлення дискретне, відносно від зонного розподілу природньої освітленості)	1,2–1,25
3	Плавне управління потужністю і світловим потоком відносно від розподілу природньої освітленості	1,3–1,4

$$\Delta W_2 = 64834{,}56 \cdot (1{,}25 - 1) = 16208{,}64,\ \text{кВт} \cdot \text{год}$$

$$\Delta W = 1945{,}04 + 16208{,}64 = 18153{,}68,\ \text{кВт} \cdot \text{год}$$

За представленою вище методикою зроблений розрахунок економії електроенергії на фабриці. В середньому економічно реальний потенціал економії електроенергії в системах освітлення склав 28 %.

4 АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВСТАНОВЛЕННЯ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРІВ

4.1 Локальні теплоакумулятори

Електроенергія споживається протягом доби нерівномірно. Використовувати нічні провали споживання дозволяють системи опалення із акумуляцією тепла, які споживають електроенергію в автоматичному режимі тільки вночі, а опалюють приміщення цілодобово.

Встановлення теплонакопичувачів є важливим інструментом для підвищення енергетичної ефективності підприємств. Вони дозволяють накопичувати тепло в періоди низького споживання енергії та використовувати його у години пікового навантаження. На рисунку 4.1 представлено аналіз використання теплонакопичувачів у різних сферах промисловості.

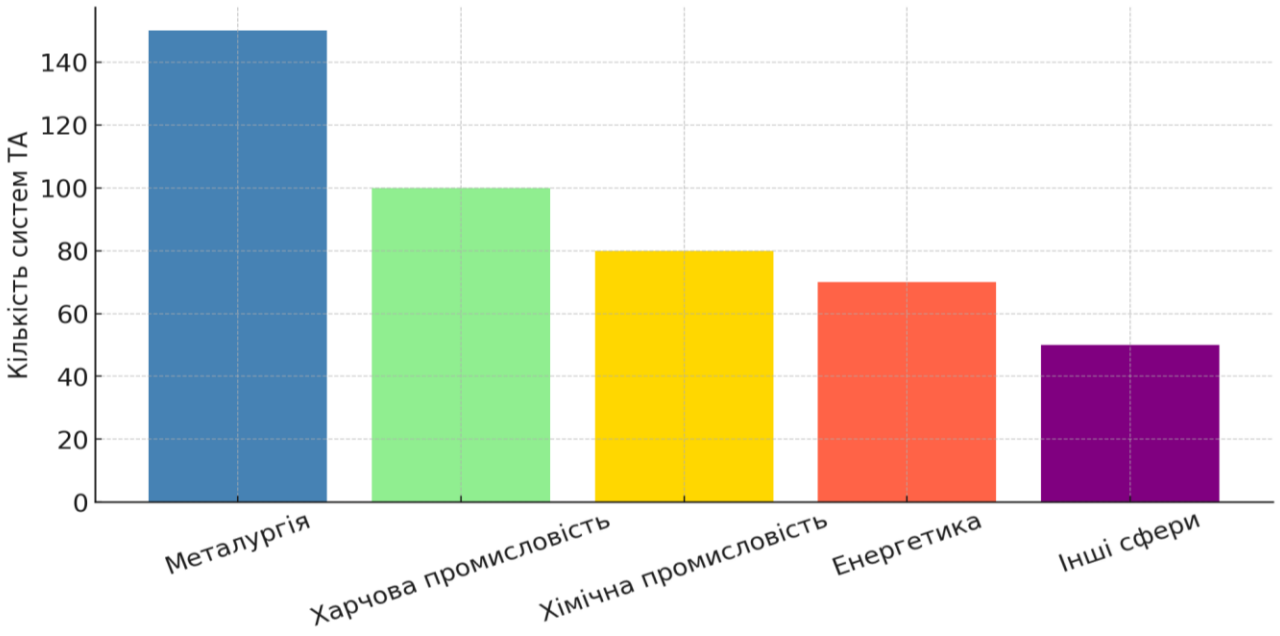


Рисунок 4.1. Використання теплонакопичувачів у різних сферах промисловості

Встановлення теплонакопичувачів є вигідним рішенням для підприємств, яке дозволяє:

1. Значно знизити витрати на енергію.

2. Підвищити стабільність енергопостачання.

3. Сприяти зменшенню впливу на довкілля.

Ретельне планування та розрахунки забезпечать ефективність інвестицій та довготривалу користь для підприємства. Тому доцільно провести розрахунок витрат на електроенергію при встановленні теплонакопичувачів на фабриці.

4.2 Математична модель для встановлення теплонакопичувачів

Математична модель для встановлення теплонакопичувачів, які акумулюють тепло в періоди низького споживання енергії та використовують його в години пікового навантаження, повинна враховувати кілька ключових аспектів: теплові процеси, енергетичний баланс, часові характеристики навантаження та економічні параметри [12]

Основні компоненти математичної моделі:

Тепловий баланс теплонакопичувача:

рівняння теплопередачі:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T + \frac{q}{\rho c_p},$$

де - T– температура;

- α– коефіцієнт температуропровідності;

- q– тепловий потік;
- ρ– густина матеріалу;
- c_p– питома теплоємність.

Енергетичний баланс:

Для періоду зарядки (накопичення тепла):

$$Q_{\text{зар}} = \int_{t_1}^{t_2} P_{\text{зар}}(t)\, dt$$

де $Q_{\text{зар}}$– накопичена енергія, $P_{\text{зар(t)}}$– потужність зарядки.

Для періоду розрядки (використання тепла):

$$Q_{\text{роз}} = \int_{t_3}^{t_4} P_{\text{роз}}(t)\, dt$$

де $Q_{\text{роз}}$– використана енергія, $P_{\text{роз(t)}}$– потужність розрядки.

Ефективність теплонакопичувача:

Коефіцієнт корисної дії (ККД):

$$\eta = \frac{Q_{\text{роз}}}{Q_{\text{зар}}}$$

Часові характеристики навантаження:

Моделювання графіка навантаження:

$$P_{\text{нав}}(t) = P_{\text{баз}} + P_{\text{пік}}(t)$$

де Рбаз– базове навантаження, Рпік(t)– п

Мінімізація витрат на енергію:

$$C_{\text{заг}} = C_{\text{зар}} + C_{\text{роз}} + C_{\text{втр}}$$

де $C_{зар}$– витрати на зарядку, $C_{роз}$– витрати на розрядку, $C_{втр}$– втрати енергії.

Алгоритм моделювання:

Вхідні дані:

- графік навантаження (базове та пікове навантаження);
- характеристики теплонакопичувача (ємність, теплові втрати, ККД);
- вартість енергії в різний час доби.

Розрахунок режимів зарядки та розрядки:

- визначення періодів низького та пікового навантаження;
- розрахунок необхідної кількості тепла для акумулювання.

Оцінка ефективності:

- розрахунок енергії, яка може бути збережена та використана;
- визначення економії за рахунок використання теплонакопичувача.

Оптимізація параметрів:

- вибір оптимальної ємності теплонакопичувача;
- визначення найефективнішого часу зарядки та розрядки.

4.3. Розрахунок витрат на електроенергію при встановленні теплонакопичувачів

Розглянемо графік добового навантаження фабрики (рисунок 4.1) :

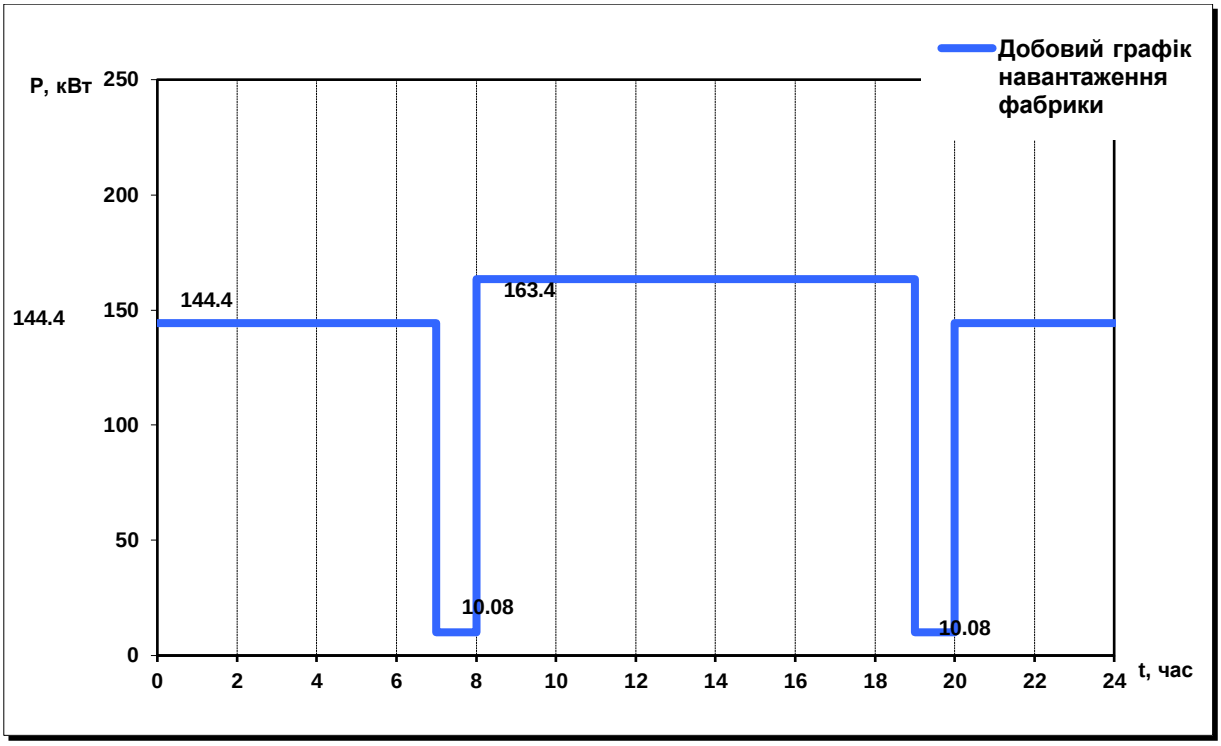


Рисунок 4.1 – Добовий графік навантаження фабрики

Сумарне споживання електроенергії:

$$W = \sum_{i=1}^{n} P_i \cdot t_i, \text{ кВт·год} \quad (4.1)$$

де n - кількість періодів;

P_i – навантаження кожного періоду, кВт;

t_i - тривалість періоду, год.

W = 144,4·7 + 10,08·1 +163,4·11+ 10,08·1 + 144,4·4 = 3405,96 кВт·год.

Вартість спожитої обладнанням та освітленням електроенергії за добу при звичайному тарифі на електроенергію:

$$B = W \cdot map, \text{ грн,} \quad (4.2)$$

$$В = 3405,96 \cdot 6,792 = 23133, 28 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію при дифтарифі визначаються за допомогою коефіцієнтів, що наведені у таблиці 4.1.

На меблеву фабрику розповсюджується тризонний тариф, отже добова витрата електроенергії при застосуванні дифтарифа дорівнює:

$$B_{\partial} = \sum_{i=1}^{n} P_i \cdot t_i \cdot K \cdot map, \text{ грн,} \quad (4.3)$$

$$В_д = (144,4 \cdot 7 \cdot 0,4 + 10,08 \cdot 1 \cdot 1 + 163,4 \cdot 3 \cdot 1,5 + 163,4 \cdot 8 \cdot 1 + 10,08 \cdot 1 \cdot 1 + 144,4 \cdot 2 \cdot 1,5 + 144,4 \cdot 1 \cdot 1 + 144,4 \cdot 1 \cdot 0,4) \cdot 1,1473 = 21071,1 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.1 - Тарифи на електроенергію для підприємств

Період часу	Денний	Нічний	Напівпіковий	Піковий
Двозонні тарифи				
Тарифні коефіцієнти	1	0,5		
Тривалість періоду, год	16 ($7^{00} \div 23^{00}$)	8 ($23^{00} \div 7^{00}$)		
Тризонні тарифи				
Тарифні коефіцієнти		0,4	1	1,5
Тривалість періоду, год		8 ($23^{00} \div 7^{00}$)	11 ($7^{00} \div 8^{00}$) ($11^{00} \div 20^{00}$) ($22^{00} \div 23^{00}$)	5 ($8^{00} \div 11^{00}$) ($20^{00} \div 22^{00}$)

Різниця між витратами на електроенергію при дифтарифі та при звичайному тарифі:

$$\Delta B = B_д - B, \text{ грн}, \quad (4.4)$$

$$\Delta B = 23133, 28 - 21071,1 = 2062,18 \text{ грн}.$$

Добовий графік навантаження фабрики з урахуванням роботи теплонакопичувачів у період опалення наведено на рис.4.2.

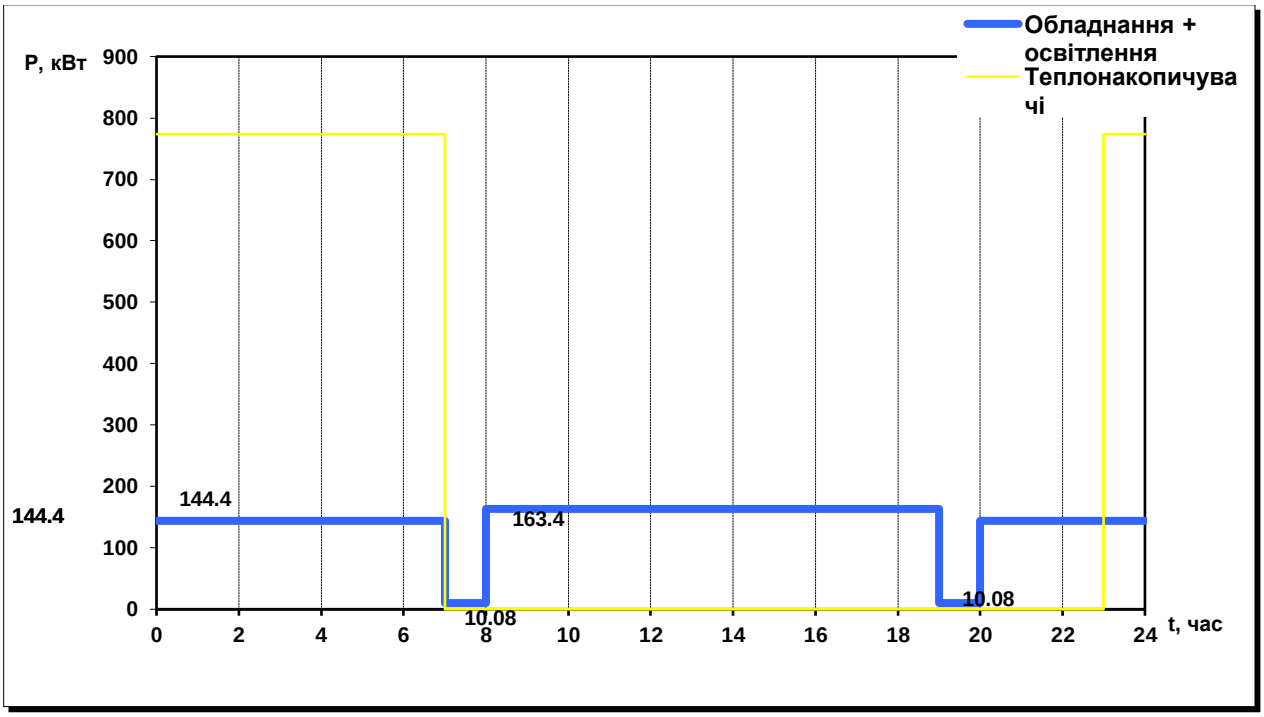


Рисунок 4.2 – Добовий графік навантаження фабрики з урахуванням роботи теплонакопичувачів у період опалення

Добова витрата на електроенергію з урахуванням роботи теплонакопичувачів при дифтарифі:

$$В_{дтн} =(773,67\cdot7\cdot0,4 + 10,08\cdot1\cdot1 + 163,4\cdot3\cdot1,5 +163,4\cdot8\cdot1 + 10,08\cdot1\cdot1+ +144,4\cdot2\cdot1,5 + 144,4\cdot1\cdot1 + 773,67\cdot1\cdot0,4) \cdot6,792 = 34747,90 \text{ грн.}$$

$$В_{дтн}/В = 23133,28/ 34747,90= 1,502.$$

Різниця між добовими витратами на електроенергію при базовому варіанті та після встановлення теплонакопичувачів:

$$\Delta В = В_{дтн} – В, \text{ грн,} \quad (4.3)$$

$$\Delta В = 34747,90 – 23133,28 = 11614,62 \text{ грн.}$$

Зміна добових витрат на електроенергію при дифтарифі до та після встановлення теплонакопичувачів:

$$\Delta В_о = В_{дтн} – В_д, \text{ грн ,} \quad (4.4)$$

$$\Delta В_о = 34747,90 – 21071,1 = 13676,80 \text{ грн.}$$

Отже, як бачимо, використання дифтарифу певним чином зменшує витрати на електроенергію, та при встановленні теплонакопичувачів витрати на електроенергію перевищують витрати при базовому варіанті в 1,5 рази. Отримати більшу економію можливо при перенесенні частини навантаження обладнання з пікових та напівпікових періодів часу на нічний період.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуті заходи щодо підвищення енергоефективності меблевого виробництва.

Меблеве виробництво характеризується значним споживанням енергоресурсів. Значна кількість верстатів живиться стисненим повітрям, що виробляється компресорним обладнанням, яке, в свою чергу, споживає багато електроенергії. Виходячи з цього в дипломній роботі розглядається система контролю над використанням електроенергії, а саме частотний перетворювач для компресора та системи регулювання штучного освітлення. Розглядаються шляхи підвищення ККД існуючої системи освітлення та автоматизація, а саме встановлення системи управління освітленням. Запропоновано блок-схему алгоритму автоматичного освітлення.

Проведено дослідження оптимізації використання теплонакопичувачів у промислових процесах та представлена математична модель для встановлення теплонакопичувачів.

Проведені техніко-економічні розрахунки впровадження запропонованих заходів. Компресор з частотним перетворювачем дозволить зекономити 837805,43 грн/рік, а термін окупності становить 1,02 років. Щодо автоматизації освітлення, то в середньому економічно реальний потенціал економії електроенергії в системах освітлення склав 28 %.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1.СТАНКО ДНЕПР. Вертикальний форматно-розкрійний верстат Striebig Compact [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.stankodnepr.com.ua/ru/catalog/oborudovanie/pilenie/vertikalnye-formatno-raskroechnye-stanki-striebig/striebig-compact/. – Назва з екрана. – Дата звернення: 06.09.2024.

2. ЕНЕРГОТЕХ. Гвинтові пластинчасті компресори Hydrovane [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://entech-ukraine.dp.ua/ua/g25423725-hydrovane-rotorno-plastinchatye. – Назва з екрана. – Дата звернення: 06.09.2024.

3. MAXUS. Світлодіодна лампа Maxus HW 30W 5000K E27/E40 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://maxus.com.ua/ru/lampa-svitlodiodna-maxus-hw-30w-5000k-e27-e40.html. – Назва з екрана. – Дата звернення: 06.09.2024.

4. ПРАЙМ ХОЛОД. Аміачні холодильні установки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://primeholod.com.ua/uk/obladnannya/amiachni-kholodilni-ustanovki. – Назва з екрана. – Дата звернення: 06.02.2024.

5. Li, D., Cheung, K. L., Wong, S., Lam, T. N. T. An advanced lighting control system for energy efficiency and user satisfaction // Energy and Buildings. – 2010. – Т. 42, № 3. – С. 341–346.

6. Pandharipande, A., Caicedo, D. Smart indoor lighting systems with luminaire-based sensing: A review of lighting control approaches // Energy and Buildings. – 2015. – Т. 104. – С. 369–377.

7. Galasiu, A. D., Veitch, J. A. Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylit offices: A literature review // Energy and Buildings. – 2006. – Т. 38, № 7. – С. 728–742.

8. Dounis, A. I., Caraiscos, C. Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment—A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2009. – Т. 13, № 6–7. – С. 1246–1261.

9. Khan, A., Aslam, M. Smart lighting system using IoT with energy efficient algorithm // 2017 International Conference on Innovations in Electrical Engineering and Computational Technologies (ICIEECT). – 2017.

10. Hassanien, R. H. E., Li, M., Yin, H. Smart lighting systems: Technologies, design, and implementation. – Springer, 2020.

11. Kolokotsa, D., Stavropoulos, T. G. Smart lighting control systems: Design and implementation // In Smart Cities: Issues and Challenges. – Elsevier, 2019. – С. 123–145.

12. Вербовський В.С. Математична модель і результати розрахунку енергетичних показників теплообмінника утилізації теплового акумулятора (ТА) двигуна внутрішнього згоряння [Електронний ресурс] // Наукові розробки. – Режим доступу: https://diser.ntu.edu.ua/VerbovskiyVS_dis.pdf. – Дата звернення: 20.10.2024.

13. Системи керування світлотехнічними пристроями / Навчальний посібник під редакцією кафедри світлотехніки та джерел світла. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 55 с.

14. Автоматична система керування освітленням / С. Тугай. – Матеріали XIII-ї науково-практичної конференції «Перспективні напрямки сучасної електроніки», КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С. 97–99.

15. Розробка автоматизованої системи управління освітленням об’єктів спеціального призначення / Н. О. Кушнір, Т. М. Локтікова, Ю. І. Лисогор та ін. – Технічна інженерія, 2023, № 1(91), С. 127–132.

16. Розробка системи автоматичного керування освітленням технологічних приміщень / М. А. Бандрівська. – Кваліфікаційна робота бакалавра,

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2021. – 62 с.

17. Мандрика А. С. та ін. Енергоефективні технології: навчальний посібник / за заг. ред. А. С. Мандрики. – Суми: Сумський державний університет, 2021. – 330 с.

18. Лисак О. В. Визначення необхідної потужності електричних теплоакумуляційних обігрівачів // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва. – 2016. – № 844. – С. 127–132.

19. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: підручник. – Київ: НТУУ «КПІ», 2012. – 492 с.

20. Дудюк Д. Л., Мазепа С. С., Гнатишин Я. М. Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі: навч. посіб. – Львів: «Магнолія 2006», 2008. – 188 с.

21. Ковальов І. О., Ратушний О. В. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії України: навч. посіб. – Суми: СумДУ, 2016. – 201 с.

22. ELEKSUN. Приклад застосування пристрою плавного пуску та перетворювача частоти для компресорів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://eleksun.com.ua/uk/blog/article/primer-primeneniya-ustroystva-plavnogo-puska-i-preobrazovatelya-chastoty-dlya. – Дата звернення: 21.010.2024.

23. Ковальчук О. В., Ковальчук В. В. Підвищення енергоефективності компресорних установок шляхом застосування частотних перетворювачів // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2017. – № 2. – С. 45–49.

24. Сидоренко С. М., Кравченко О. В. Дослідження енергозберігаючих режимів роботи компресорних станцій з використанням частотних перетворювачів // Енергетика та автоматика. – 2018. – Т. 2, № 50. – С. 23–29.

25. Бережний С.Є., Гужин М.В. Використання частотно-регульованого приводу в компресорних установках // Збірник наукових праць Харківського

національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – 2017. – С. 31–33.

26. Вінчура О. В. Частотне керування електроприводом компресорної станції DANFOSS VSH170: кваліфікаційна робота магістра. – Суми: Сумський державний університет, 2023. – 77 с.