

**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ
І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки
та електротехнологій

_____ · _____ · _____
число місяць рік

на тему «Підвищення енергоефективності ремонтного підприємства»
Спеціальність: 141- «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

К.Т.Н., доцент _____ / **Наливайко В.А.** /
(підпис) (прізвище та ініціали)

КИЇВ – 2026

АНОТАЦІЯ

Випускна бакалаврська робота на тему: “Розроблення приладового комплексу для проведення енергетичного аудиту електротехнічною службою підприємства”

Проведено розрахунок освітлення виробничих приміщень, силових і освітлювальних електропроводок, а також вибір пускозахисної апаратури.

Детально розглянуто питання проведення енергетичного аудиту. Розглянуті питання організації електротехнічної служби.

ANNOTATION

The degree project on a theme « Development of an instrument complex for energy audit by the electrical service of the enterprise».

The accounts of illumination of industrial premises, power networks, and also choice, electrical equipment are carried out(spent).

The question of development of technology of repair of contact units of switching devices of mobile electrotransport is in details considered.

Have been looked question about restaureit connect parts with help electriscityfair legiration.

ВСТУП

Сучасні підприємства та установи використовують значну кількість електротехнічного, теплотехнічного й допоміжного обладнання, робота якого безпосередньо впливає на рівень споживання енергоресурсів. У таких умовах важливим завданням стає не лише забезпечення надійної експлуатації енергообладнання, а й постійне отримання точних даних про фактичні витрати електричної енергії, тепла, води та інших енергоносіїв. Наявність достовірної інформації дає змогу своєчасно виявляти перевитрати, нерівномірність навантаження, небаланси в мережах, нераціональні режими роботи обладнання та приховані втрати, які складно встановити за допомогою періодичного ручного контролю.

Використання сучасних програмно-апаратних засобів моніторингу змінює підхід до енергетичного обліку та управління енергоспоживанням. Автоматизовані системи забезпечують збирання, передавання, збереження й обробку вимірювальних даних у реальному часі, що значно підвищує оперативність прийняття технічних і організаційних рішень. Завдяки цьому робота енергетичної служби стає більш прозорою, обґрунтованою та менш залежною від суб'єктивного фактора під час аналізу показників споживання.

Перехід від епізодичного контролю витрат енергоносіїв до безперервного автоматизованого моніторингу є одним із важливих напрямів підвищення енергоефективності об'єктів. Такий підхід дозволяє не тільки фіксувати фактичні показники споживання, а й аналізувати динаміку навантажень, прогнозувати потребу в енергоресурсах, формувати звітність та визначати технічно обґрунтовані заходи з енергозбереження. Саме тому метою цієї роботи є вдосконалення програмно-апаратного комплексу для автоматизованого моніторингу витрат енергоносіїв, який забезпечує підвищення точності обліку, оперативності аналізу та ефективності управління енергоспоживанням.

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ							
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата								
Розробив		Рибик Ю.А.			Пояснювальна записка				Літ.		Арк.	Аркушів
Перевірив		Наливайко В.А.										
Н. Контр.		Чуєнко Р.М.							EEE-220016			
Затвердив		Окушко О.В.										

ЗМІСТ

ВСТУП	5
ЗМІСТ	5
1. АНАЛІЗ СТАНУ, ПЕРСПЕКТИВ І НАПРЯМКІВ РЕАЛІЗАЦІЇ НОВІТНІХ ФОРМ АУДИТОРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ	7
1.1. Загальні вимоги щодо проведення енергетичного аудиту.....	7
1.2. Енергоаудиторська звітність	10
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	13
2.1. Обґрунтування і вибір проекту пункту технічного діагностування електрообладнання.....	13
2.2. Розрахунок вениляції пункту технічного діагностування електрообладнання.....	14
3. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА	17
3.1. Розрахунок електричного освітлення та освітлювальної мережі.....	17
3.2. Перевірка електродвигунів приводу технологічного обладнання на відповідність параметрам мережі живлення і умовам навколишнього середовища.....	22
3.3. Розрахунок і вибір пускозахисних апаратів та низьковольтних комплектних пристроїв керування	34
4. РОЗРОБКА ПРИЛАДОВОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ	38
4.1. Загальні вимоги щодо встановлення та експлуатації засобів обліку і управління електроспоживанням.	38
4.2. Вимоги постачальника щодо встановлення та експлуатації засобів трифазних інтегральних (багатотарифних) лічильників, що застосовуються в АСКОВЕ.....	39
4.3. Розробка схеми обліку електроенергії	39
4.4. Програмний продукт «Енергоцентр»	41
4.5. Налаштування автоматизованого робочого місця енергетика	44
4.6. Налаштування автоматизованого опитування лічильників.....	45
4.7. Формування макетів автоматизованого опитування лічильників.....	47
5. ЗАХОДИ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ	51

5.1	Аналіз та обробка інформації на ЕОМ	51
5.2.	Аналіз небалансів	53
5.3	Прогнозування споживання електричної енергії	54
ВИСНОВКИ.....		67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		71

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

1. АНАЛІЗ СТАНУ, ПЕРСПЕКТИВ І НАПРЯМКІВ РЕАЛІЗАЦІЇ НОВІТНІХ ФОРМ АУДИТОРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

1.1. Загальні вимоги щодо проведення енергетичного аудиту.

Актуальність проведення енергетичного аудиту визначається зростанням вартості паливно-енергетичних ресурсів, високою часткою енергетичних витрат у собівартості продукції та необхідністю підвищення ефективності роботи підприємств. Для більшості виробничих, адміністративних і комунальних об'єктів витрати на електроенергію, теплову енергію, воду, газ та інші енергоносії є постійною складовою експлуатаційних витрат. Тому відсутність достовірного обліку, нерівномірне навантаження обладнання, приховані втрати або нераціональні режими роботи безпосередньо впливають на економічні показники підприємства.

Основною метою енергетичного аудиту є визначення фактичного стану енергоспоживання об'єкта та розроблення технічно обґрунтованих заходів для його оптимізації. До основних завдань енергоаудиторської діяльності належать:

- зменшення питомого споживання енергоресурсів без погіршення виробничих або експлуатаційних показників;
- виявлення нераціональних витрат електричної, теплової та інших видів енергії;
- визначення резервів енергозбереження на рівні обладнання, мереж, будівель і технологічних процесів;
- підготовка практичних рекомендацій щодо впровадження енергоефективних технічних рішень;
- удосконалення системи обліку, контролю та автоматизованого моніторингу витрат енергоносіїв.

Енергетичний аудит є організаційно-технічним інструментом оцінювання ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів. Його

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

сутність полягає у збиранні вихідних даних, аналізі режимів споживання, проведенні необхідних вимірювань, визначенні втрат і розробленні рекомендацій щодо підвищення енергоефективності. На відміну від звичайного обліку, енергоаудит не обмежується фіксацією показників лічильників, а передбачає комплексне дослідження причин перевитрат, технічного стану обладнання та можливостей автоматизації контролю енергоспоживання [25, 26].

Діяльність у сфері енергетичного аудиту можуть виконувати такі суб'єкти:

- енергоаудитор - фахівець відповідної кваліфікації, який має необхідні знання та практичні навички для проведення енергетичного обстеження;
- енергоаудиторська організація - підприємство або установа, що виконує комплексні роботи з аналізу енергоспоживання, інструментальних вимірювань і підготовки технічних рекомендацій;
- енергосервісна компанія - організація, діяльність якої пов'язана з розробленням, фінансуванням і впровадженням енергоощадних заходів, зокрема на умовах енергосервісних договорів.

Методологія енергетичного аудиту охоплює сукупність організаційних, вимірjuвальних, розрахункових та аналітичних процедур. Вона включає попереднє ознайомлення з об'єктом, аналіз наявної технічної документації, вивчення графіків навантаження, перевірку стану засобів обліку, проведення інструментальних вимірювань, обробку отриманих даних і формування переліку енергозберігаючих заходів. Узагальнену послідовність виконання енергетичного аудиту підприємства наведено на рис. 1.1.

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

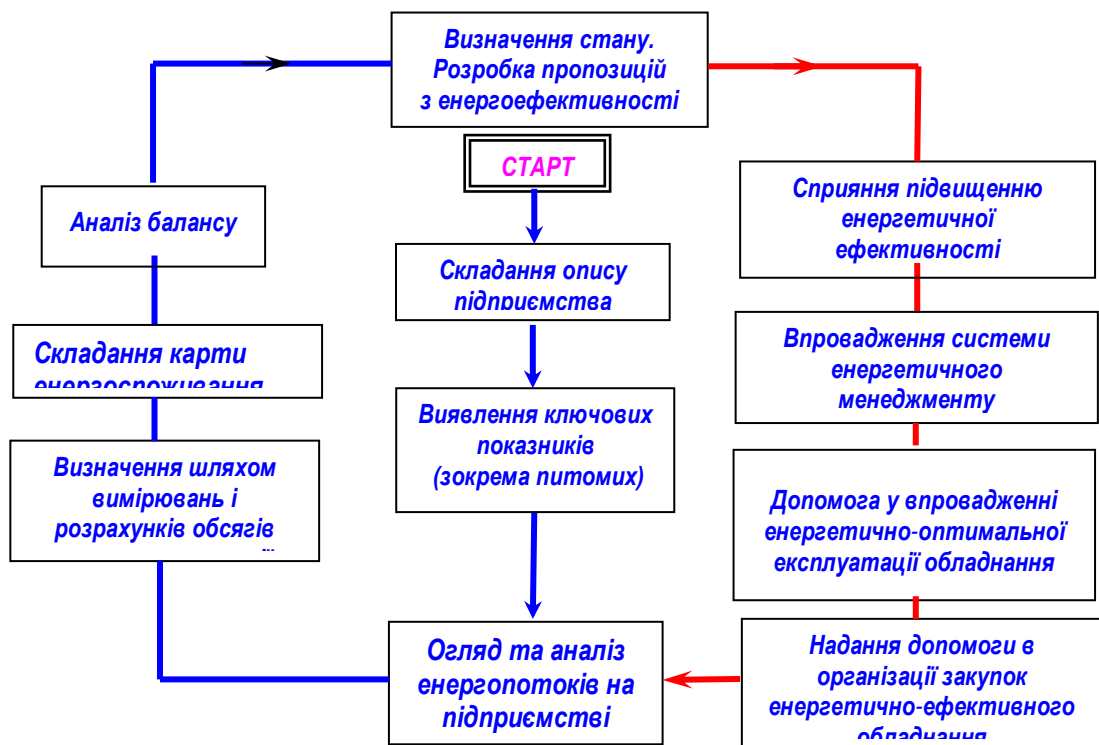


Рис. 1.1 – Структурна схема енергетичного аудиту підприємства

Доцільність проведення енергетичного аудиту визначається не лише обсягами споживання енергоресурсів, а й готовністю підприємства впроваджувати запропоновані заходи. Якщо частка енергетичних витрат у загальній структурі витрат є суттєвою, наприклад становить 10–15 % і більше, енергоаудит може дати відчутний економічний ефект. У випадках, коли енергетична складова є незначною, першочерговими можуть бути інші напрями модернізації, зокрема оновлення технологічного обладнання, підвищення продуктивності або вдосконалення виробничої логістики.

Важливою умовою результативності енергетичного аудиту є зацікавленість керівництва підприємства. Якщо адміністрація об'єкта не готова впроваджувати політику енергозбереження, навіть якісно підготовлений звіт не забезпечить практичного результату. Крім того, підприємство повинно мати кваліфікований персонал, здатний супроводжувати роботу енергоаудиторів, надавати технічну інформацію, брати участь у вимірюваннях і надалі експлуатувати впроваджені засоби моніторингу.

Окреме значення має економічна стабільність підприємства, оскільки реалізація енергоефективних заходів часто потребує капіталовкладень. До таких заходів можуть належати модернізація вузлів обліку, встановлення багатофункціональних лічильників, впровадження контролерів збору даних, використання програмного забезпечення для аналізу споживання та автоматизація формування звітності.

Важливим етапом енергетичного аудиту є інструментальне обстеження об'єкта. Воно дозволяє уточнити фактичні параметри роботи обладнання, перевірити достовірність облікових даних, оцінити якість електроенергії, визначити навантаження окремих споживачів і встановити характер зміни споживання протягом доби або тижня. Обсяг вимірювань має бути достатнім для отримання об'єктивних результатів, але водночас не повинен ускладнювати нормальну роботу підприємства.

Усі вимірювання під час енергетичного аудиту необхідно виконувати із застосуванням справних і повірених засобів вимірювальної техніки. Отримані результати мають бути придатними для подальшої технічної обробки, побудови графіків навантаження, розрахунку небалансів і формування рекомендацій щодо вдосконалення програмно-апаратного комплексу автоматизованого моніторингу витрат енергоносіїв.

1.2 Енергоаудиторська звітність

Підсумковим документом за результатами енергетичного аудиту є звіт, у якому систематизуються отримані дані, результати вимірювань, розрахунків та технічного аналізу об'єкта. Структура такого звіту повинна забезпечувати повне відображення фактичного стану енергоспоживання, виявлених проблем і запропонованих заходів з підвищення енергоефективності. Узагальнену структуру звіту з енергоаудиту наведено на рис. 1.2.

Документація, що формується за результатами енергетичного аудиту, має бути оформлена державною мовою відповідно до вимог чинного законодавства

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

України та внутрішніх вимог замовника. Якщо енергоаудиторські послуги надаються у формі консультацій, їх результати доцільно подавати у письмовому вигляді з додаванням необхідних підтвердних матеріалів, сертифікатів, протоколів вимірювань та інших офіційних документів. У разі виконання комплексного енергетичного обстеження результати оформлюються у вигляді технічного звіту, експертного висновку або акта виконаних робіт.

Звіт з енергетичного аудиту є науково-технічним документом, який містить результати аналізу використання паливно-енергетичних ресурсів на об'єкті. Право власності на такий документ, як правило, належить замовнику робіт, якщо інші умови не визначені договором між замовником і виконавцем енергоаудиторських послуг. Зміст звіту має бути достатнім для подальшого прийняття управлінських, технічних та інвестиційних рішень щодо модернізації систем обліку, автоматизованого моніторингу та зниження витрат енергоносіїв.

Звіт про енергетичний аудит оформлюється як офіційний документ, що засвідчується відповідальним енергоаудитором або енергоаудиторською організацією. До його складу зазвичай входять титульна сторінка, вступ, коротка характеристика об'єкта, опис існуючої системи енергопостачання та обліку, аналіз фактичного споживання енергоресурсів, графіки й діаграми навантажень, оцінка втрат, перелік виявлених недоліків, розрахунок потенціалу енергозбереження, пропозиції щодо впровадження енергоефективних заходів, рекомендації з удосконалення системи енергоменеджменту та підсумковий висновок.

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 1.2 – Структурна схема звіту з енергоаудиту

Енергоаудиторський висновок є завершальною частиною звіту та містить узагальнені рекомендації щодо зменшення споживання паливно-енергетичних ресурсів, підвищення точності обліку, оптимізації режимів роботи обладнання і впровадження засобів автоматизованого моніторингу витрат енергоносіїв.

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Обґрунтування і вибір проекту пункту технічного діагностування електрообладнання.

Проектування пунктів технічного обслуговування енергообладнання виконується з урахуванням напрацювань проєктних і науково-дослідних організацій, якими розроблено низку типових рішень для ремонтно-експлуатаційних підрозділів. Такі проєкти використовуються як основа для організації робочих зон, добору технологічного обладнання, визначення виробничих площ і забезпечення належних умов виконання ремонтних та діагностичних операцій.

Найбільш поширеними є пункти технічного обслуговування і ремонту енергетичного обладнання, розраховані на виконання близько 4200 умовних ремонтів на рік, що відповідає орієнтовній трудомісткості 18060 люд.-год/рік. Такий обсяг робіт дає змогу забезпечити планове обслуговування, оперативне усунення несправностей і підтримання працездатності основного та допоміжного енергообладнання підприємства.

Пункт технічного обслуговування призначений для виконання поточного ремонту електричного, теплового, теплосилового, вентиляційного, холодильного та іншого інженерного обладнання. У його складі передбачаються роботи з виявлення й усунення аварійних пошкоджень, сушіння, просочування, фарбування, підготовчо-монтажних, налагоджувальних і зварювальних операцій.

Поточному ремонту в межах такого пункту підлягають малогабаритні електроустановки, окремі вузли, деталі, складальні одиниці та елементи різних видів енергетичного обладнання, які можуть бути відновлені без повної заміни основного агрегату.

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

2.2 Розрахунок вентиляції пункту технічного діагностування електрообладнання

У приміщенні пункту технічного діагностування електрообладнання необхідно передбачити ефективну систему вентиляції, оскільки під час виконання ремонтних, вимірювальних і налагоджувальних робіт у повітря можуть надходити надлишкове тепло, пил, пари ізоляційних матеріалів та інші шкідливі домішки. Вентиляція повинна забезпечувати підтримання допустимих санітарно-гігієнічних параметрів повітряного середовища та створювати безпечні умови праці для обслуговуючого персоналу.

Вибір типу вентиляційної системи залежить від призначення приміщення, його об'єму, кількості працівників, характеру виконуваних операцій і необхідної кратності повітрообміну. Якщо потрібний повітрообмін є незначним, допускається застосування припливної вентиляції. За підвищеної кратності повітрообміну доцільно використовувати витяжну вентиляцію з механічним спонуканням руху повітря або комбіновану припливно-витяжну систему.

Для пункту технічного діагностування електрообладнання приймаємо припливно-витяжну систему вентиляції, яка забезпечує одночасне надходження свіжого повітря та видалення забрудненого повітря з робочої зони. Такий варіант є найбільш раціональним, оскільки дозволяє підтримувати стабільний повітряний режим у приміщенні та запобігати накопиченню шкідливих речовин.

Розрахунок необхідної кількості повітря, що повинна видалятися вентиляційною системою, виконуємо за кратністю повітрообміну відповідно до вимог чинних будівельних і санітарних норм. Необхідний повітрообмін визначається за формулою:

$$L_n = V \cdot k_p, \quad (2.11)$$

де V - об'єм приміщення, м^3 ;

$$V = 9 \cdot 6 \cdot 4,5 = 245 \text{ м}^3;$$

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

k_p - кратність повітрообміну, 1/год.

Для приміщення пункту технічного діагностування вентиляційний пристрій повинен забезпечувати 4-кратний обмін повітря за годину

$$L_n = 243 \cdot 4 = 973 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Видалення повітря з приміщення здійснюється з верхньої зони. Приймаємо повітропровід згідно ДБН діаметром 160 мм із гладкої оцинкованої сталі.

Опір повітропроводу:

$$H_o = 0,085 \cdot \left(1 \cdot \frac{\gamma}{d} + \alpha \right) \cdot L^2 \cdot \frac{\rho_n}{d^4}; \quad (2.2)$$

де L - щосекундна витрата повітря, $\text{м}^3/\text{с}$;

$$L = L_n / 3600 = 972 / 3600 = 0.27 \text{ м}^3/\text{с}; \quad (2.3)$$

l - довжина повітропроводу, $l = 10 \text{ м}$;

d - діаметр повітропроводу, $d = 0.16 \text{ м}$;

γ - коефіцієнт опору, $\gamma = 0,015$;

ρ_n - густина повітря в повітропроводі при $t = 18^\circ\text{C}$, $\rho_n = 1.213 \text{ кг/м}$;

α - сума коефіцієнтів місцевих опорів.

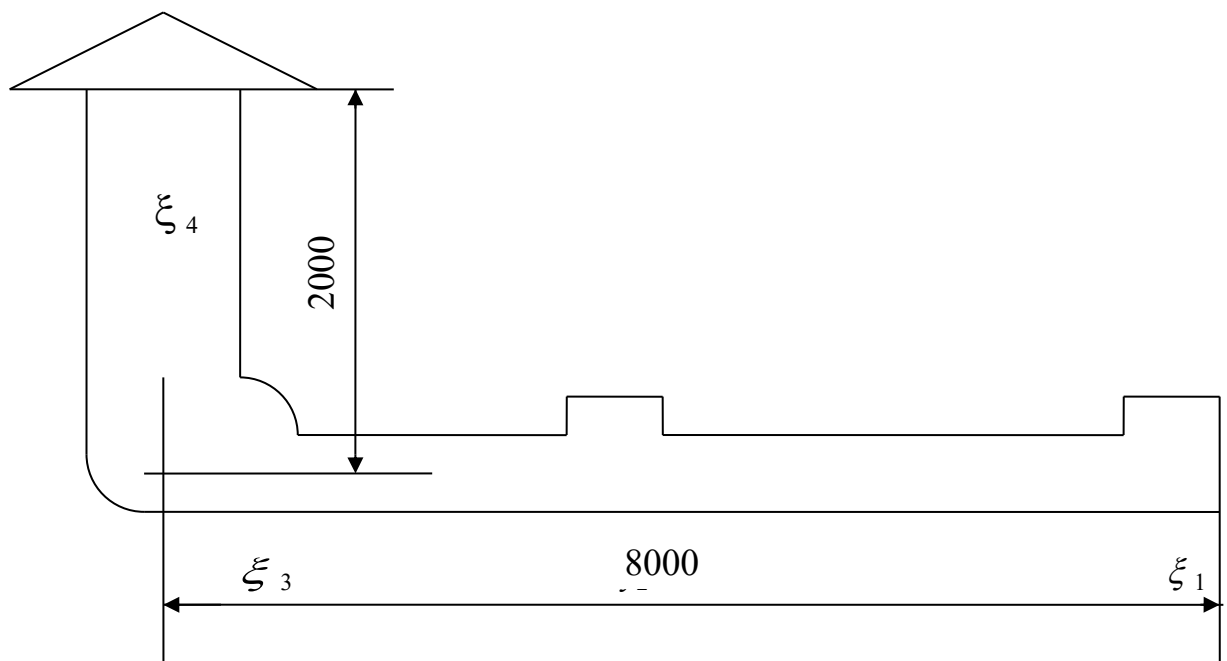


Рис.2.1 . Схема повітропроводу.

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

$$\alpha = \sum \xi, \quad (2.4)$$

де ξ_1 - два бокових входи, $\xi_1 = 2 \cdot 0,6$;

ξ_2 - потрійний прямокутний, $\xi_2 = 1$;

ξ_3 - плавний відвід, $\xi_3 = 0,25$;

ξ_4 - парасолька звичайна, $\xi_4 = 1,3$.

$$\alpha = 2 \cdot 0,6 + 1 + 0,25 + 1,3 = 3,75.$$

Після підставлення значень та обчислення за формулою (2.2), отримаємо:

$$H_o = 0,0825 \cdot \left(10 \cdot \frac{0,015}{0,16} + 3,75 \right) \cdot 0,27^2 \cdot \frac{1,213}{0,16^4} = 52,2 \text{ кг/м}^3.$$

Зведений тиск Р, який повинен забезпечувати вентилятор, і по якому ведемо його вибір:

$$P = H_o \cdot \frac{273 + t}{273 + t_1}, \quad (2.5)$$

де t - нормальна (кімнатна) температура, $t = 20^\circ\text{C}$;

t_1 - температура повітря в системі, $t_1 = 18^\circ\text{C}$.

$$P = 52,2 \cdot \frac{273 + 20}{273 + 18} = 52,6 \text{ Па}.$$

Враховуючи підсос повітря, згідно ДБН 11-Г.7-12, подача вентилятора при сталених повітропроводах повинна бути збільшена на 10%.

$$L_d = 972 + 97,2 = 1069,2 \text{ м}^3/\text{год}. \quad (2.6)$$

За приведеним тиском і дійсною подачею вибираємо відцентровий вентилятор типу Ц4-70, продуктивністю 1400 м³/год, тиском 670 Па, частотою обертання 2800 хв⁻¹, коефіцієнтом корисної дії 73,5 %, потужністю електродвигуна 0,55 кВт.

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

3. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок електричного освітлення та освітлювальної мережі

Для забезпечення нормативного рівня освітленості у виробничих, допоміжних і побутових приміщеннях пункту діагностування електрообладнання передбачається використання світильників загального освітлення. Вибір типу джерел світла виконується з урахуванням висоти приміщень, характеру виконуваних робіт, вимог до рівномірності освітлення, енергоефективності та умов експлуатації.

У виробничих зонах з більшою висотою приміщення, де необхідно забезпечити достатній світловий потік на робочій поверхні, доцільно застосовувати промислові світильники спрямованої або розсіяної дії. Для допоміжних приміщень меншої висоти можуть використовуватися світильники з рівномірним розподілом світлового потоку. З урахуванням сучасних вимог до енергозбереження перевагу доцільно надавати світлодіодним або люмінесцентним світильникам, оскільки вони мають вищу світлову віддачу, триваліший строк служби та менші експлуатаційні витрати порівняно з лампами розжарювання.

Розрахунок системи електричного освітлення виконуємо методом коефіцієнта використання світлового потоку. Цей метод застосовується для визначення параметрів загального рівномірного освітлення горизонтальних робочих поверхонь у закритих приміщеннях. Він дозволяє врахувати площу приміщення, нормовану освітленість, коефіцієнт запасу, нерівномірність освітлення, кількість світильників і частку світлового потоку, що фактично досягає робочої поверхні.

Основна розрахункова формула має вигляд:

$$\Phi = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad (3.1)$$

де Φ - розрахунковий світловий потік лампи, лм;

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

E - нормована освітленість, лк;

S - площа приміщення, м²;

z - коефіцієнт нерівномірності освітлення, $z = 1.15$;

k - коефіцієнт запасу, для ламп розжарювання $k = 1.15$;

N - кількість світильників, шт;

η - коефіцієнт використання світлового потоку.

Відповідно до нормативних вимог щодо освітлення виробничих приміщень для ремонтно-монтажної дільниці приймаємо нормовану освітленість робочої поверхні $E=30$ лк. Таке значення є достатнім для виконання основних ремонтних, монтажних і допоміжних операцій, що не потребують підвищеної зорової точності.

Для освітлення приміщення обираємо промисловий підвісний світильник типу НСП11х100. Даний світильник належить до світильників прямого світлорозподілу, призначений для експлуатації у виробничих приміщеннях і має пилозахищене виконання, що є важливим для умов роботи пункту діагностування електрообладнання.

Кількість світильників визначаємо з урахуванням раціонального їх розміщення по площі приміщення. Для забезпечення рівномірного освітлення приймаємо найбільш доцільну відносну відстань між світильниками, яка залежить від розрахункової висоти підвісу. Відстань між сусідніми світильниками визначаємо за формулою: $\lambda = 1$

$$L = \lambda \cdot H_p, \quad (3.2)$$

L - відстань між світильниками, м;

H_p - розрахункова висота, м; $H_p = 2,5$ м

Тоді,

$$L = 1 \cdot 2,5 = 2,5 \text{ м}$$

Кількість рядів N_a , шт, та кількість світильників у ряду N_b :

$$N_a = B/L; \quad N_b = A/L,$$

де $B = 5$ м, $A = 5,5$ м - відповідно ширина і довжина приміщення.

$$N_a = 5/2,5 = 2 \text{ ряди}, \quad N_b = 5,5/2,5 \approx 2 \text{ шт.}$$

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Загальна кількість світильників:

$$N = N_a \cdot N_b = 2 \cdot 2 = 4 \text{ шт}$$

Вибираємо коефіцієнти відбиття стелі, стін і підлоги [13]:

$$\rho_1 = 70\% - \text{стелі}, \quad \rho_2 = 50\% - \text{стін}, \quad \rho_3 = 30\% - \text{підлоги};$$

Визначаємо індекс приміщення i [13]:

$$i = A \cdot B / (A_p(A+B)) = 5 \cdot 5,5 / (2,5(5,5+5)) = 1,04;$$

За таблицями [13] знаходимо η - коефіцієнт використання світлового потоку.

$$\eta = 0,37;$$

Підставивши дані в (3.19), отримаємо:

$$\Phi = \frac{30 \cdot 1,15 \cdot 5 \cdot 5,5 \cdot 1,15}{4 \cdot 0,37} = 732,2 \text{ лм};$$

Вибираємо лампу БК 220-230-60 з $\Phi_{\text{ном}} = 790 \text{ лм}$ і $P_{\text{ном}} = 60 \text{ Вт}$.

Відхилення між визначеним за розрахунком світловим потоком $\Phi_{\text{р}}$ та фактичним світловим потоком вибраної лампи $\Phi_{\text{л}}$ знаходиться в допустимих межах. Це означає, що прийнятий тип лампи забезпечує необхідний рівень освітленості без суттєвого недоосвітлення або надлишкового використання електроенергії. Допустиме відхилення для вибору джерела світла приймається в межах від -10% до $+20\%$, тому вибране рішення можна вважати технічно обґрунтованим.

Для інших приміщень пункту технічного діагностування, у яких передбачено використання світильників з лампами розжарювання, розрахунок виконується за аналогічною методикою. Отримані значення кількості світильників, потужності ламп, світлового потоку та встановленої потужності заносяться до світлотехнічної відомості.

Далі виконуємо розрахунок освітлення для ділянки заготівлі конструкцій, де доцільно застосувати люмінесцентні джерела світла. Такі лампи мають вищу світлову віддачу, рівномірніший розподіл світлового потоку та кращі експлуатаційні показники порівняно з лампами розжарювання, що є важливим для виробничої зони з постійним виконанням підготовчих і монтажних операцій.

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Для освітлення ділянки приймаємо світильник типу ПВЛМ 2×402×40 з двома люмінесцентними лампами ЛД-40. Світловий потік однієї лампи ЛД-40 становить:

$$\Phi_{\text{л}}=2340 \text{ лм.}$$

Розрахунковий світловий потік для приміщення визначаємо за формулою:

$$\Phi_{\text{р}} = E \cdot k \cdot S \cdot z / \eta, \quad (3.3)$$

де k - коефіцієнт запасу; Для люмінесцентних ламп $k = 1,3$;

z - коефіцієнт нерівномірності освітлення.

Для люмінесцентних ламп $z = 1,1$;

S - площа приміщення, м^2 ;

E - нормована освітленість, лк; $E = 300$ лк;

$$S = A \cdot B = 5,5 \cdot 5,5 = 30,25 \text{ м}^2.$$

Для світильників ПВЛМ з лампами ЛД-40 знайдемо індекс приміщення:

При коефіцієнтах відбиття стелі, стін і підлоги відповідно

$$\rho_1 = 70\%, \quad \rho_2 = 50\%, \quad \rho_3 = 10\%, \quad \eta = 0.44$$

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p (A + B)} = \frac{5,5 \cdot 5,5}{3(5,5 + 5,5)} = 0,92$$

Тоді, підставивши отримані дані в (3.3) :

$$\Phi_{\text{р}} = \frac{300 \cdot 1,3 \cdot 30,25 \cdot 1,1}{0,44} = 29493,75 \text{ лм};$$

Кількість світильників :

$$N = \Phi_{\text{р}} / \Phi_{\text{л}} = 29493,75 / 4680 = 6,3$$

Приймаємо 6 світильники ПВЛМ 2*40 з лампами ЛД-40 і рівномірно розміщуємо їх у межах площі приміщення.

Потужність освітлювальної установки, кВт:

$$P = P_{\text{л}} \cdot N \cdot n, \quad (3.4)$$

де $P_{\text{л}}$ - потужність лампи , кВт;

N - кількість світильників, шт;

n - кількість ламп у світильнику, шт;

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

$$P = 0.04 \cdot 6 \cdot 2 = 0,48 \text{ кВт};$$

Розрахункова потужність освітлювальної установки, кВт, з урахуванням втрат в пускорегулюючих апаратах:

$$P_{\text{розр}} = P + 0.2 \cdot P \quad (3.5)$$

$$P_{\text{розр}} = 0,48 + 0,2 \cdot 0,48 = 0,576 \text{ кВт};$$

Для решти виробничих, допоміжних і побутових приміщень розрахунок освітлювальної установки виконуємо за тією самою послідовністю з урахуванням їх площі, висоти підвісу світильників, нормованої освітленості та типу прийнятих джерел світла. У приміщеннях із простішими умовами зорової роботи додатково може застосовуватися метод питомої потужності, який дає змогу орієнтовно визначити встановлену потужність освітлення за площею приміщення та нормативним значенням потужності на 1 м².

Для уточнення правильності прийнятого світлотехнічного рішення виконуємо перевірку освітленості точковим методом. Цей метод дає можливість оцінити фактичний рівень освітлення в окремих характерних точках робочої поверхні та перевірити, чи не виникають зони з недостатньою або надмірною освітленістю.

Контрольні точки вибираємо на робочій площині в місцях, де ймовірно можуть спостерігатися мінімальні та максимальні значення освітленості. До таких зон належать ділянки між світильниками, крайові частини приміщення, а також робочі місця, на яких виконуються основні технологічні операції.

Освітленість у розрахунковій точці визначаємо за формулою:

$$E = (I_{\alpha} \cos^3 \alpha) / (H_p^2 \cdot k), \quad (3.6)$$

де E - горизонтальна освітленість в точці розрахунку, лк;

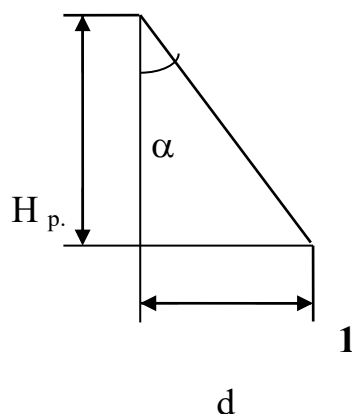
α - кут між віссю симетрії світильника та напрямком до точки розрахунку, град;

I_{α} - сила світла в напрямку до точки розрахунку, кд;

k - коефіцієнт запасу.

За розрахункову візьмемо точку на робочому місці 1.

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$d = 1,2 \text{ м.}$$

$$\alpha = \arctg d / H_p.; \quad (3.7)$$

$$\alpha = 50^0; \quad \cos^3 \alpha = 0.749.$$

$$I_\alpha = (I_\alpha)_T \cdot \Phi_{\text{л.}} / 1000, \quad (3.8)$$

де $(I_\alpha)_T$ - сила світла світильника з умовною лампою 1000 лм,

$$(I_\alpha)_T = 600 \text{ кд};$$

$$I_\alpha = 600 \cdot 3980 / 1000 = 2388 \text{ кд.}$$

Освітленість в точці розрахунку:

$$E = (2388 \cdot 0,749) / (2,6^2 \cdot 1,3) = 203,5 \text{ лк.}$$

Результати розрахунку точковим методом підтвердили правильність розрахунку методом використання світлового потоку.

3.2 Перевірка електродвигунів приводу технологічного обладнання на відповідність параметрам мережі живлення і умовам навколишнього середовища

Електрифіковане технологічне обладнання, що використовується у пункті діагностування електрообладнання, як правило, комплектується електродвигунами відповідної потужності та конструктивного виконання. Однак для забезпечення надійної і безпечної роботи приводу необхідно перевірити відповідність вибраного двигуна фактичним умовам експлуатації, параметрам електричної мережі та характеру навантаження робочої машини.

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

У межах даного розрахунку перевіряються основні параметри електродвигуна: номінальна потужність, частота обертання, напруга живлення, режим роботи, ступінь захисту, конструктивне виконання, спосіб монтажу, тривалість пуску та тепловий стан під час розгону. Така перевірка дає змогу встановити, чи забезпечує двигун необхідний пусковий момент, чи не виникає перевантаження в робочому режимі та чи відповідає його виконання умовам навколишнього середовища.

Як приклад для розрахунку приймаємо електропривод вентиляційного обладнання, а саме електродвигун витяжного вентилятора В-06-300-10А. Вибір цього обладнання є доцільним, оскільки система вентиляції працює у тривалому режимі та має забезпечувати стабільний повітрообмін у приміщенні пункту технічного діагностування. Подальша перевірка виконується за параметрами вентилятора, характеристиками електродвигуна та умовами його роботи в електричній мережі.

Технічні параметри витяжного вентилятора В-06-300-10А приймаємо такими:

продуктивність вентилятора $L=28 \text{ м}^3/\text{год}$, або $L=0,00777 \text{ м}^3/\text{с}$;
повний тиск повітряного потоку $p=157 \text{ Па}$;
номінальна частота обертання робочого колеса $n=930 \text{ об/хв}$;
максимальний коефіцієнт корисної дії вентилятора $\eta_v=0,77$;
момент інерції обертових частин вентилятора $J=52 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Оскільки робоча частота обертання вентилятора становить 930 об/хв , для його приводу необхідно прийняти асинхронний електродвигун із синхронною частотою обертання $n_s=1000 \text{ об/хв}$. Такий вибір забезпечує відповідність швидкісного режиму двигуна параметрам робочої машини без застосування додаткової механічної передачі.

Характер навантаження вентилятора є відносно сталим, тому режим роботи електродвигуна приймаємо тривалим- S1. За конструктивним виконанням доцільно застосувати електродвигун виконання ІМ 3081, тобто двигун без лап, з одним вихідним кінцем вала, придатний для встановлення у

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

заданому просторовому положенні. З урахуванням умов експлуатації у виробничому приміщенні ступінь захисту електродвигуна від пилу та вологи приймаємо IP54IP54.

Під час побудови навантажувальної характеристики вентилятора спочатку визначаємо потужність, необхідну для створення заданої подачі та повного тиску повітряного потоку. Розрахунок потужності вентилятора виконуємо за формулою:

$$P_{роз.в} = \frac{L p}{\eta_v}, \quad (3.9)$$

де L - подача вентилятора, $\text{м}^3/\text{с}$;

p - напір вентилятора, Па ;

η_v - ККД вентилятора, $\eta_v = 0.77$.

Звідси:

$$P_{роз.в} = \frac{L p}{\eta_v} = \frac{0,00777 \cdot 157}{0,77} = 1,584 \text{ кВт}$$

Після розрахунку навантаження вентилятора , діаграма набуває наступного вигляду

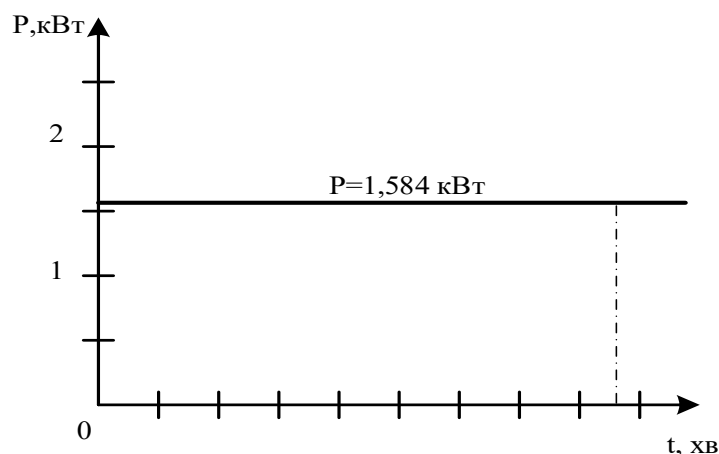


Рис. 3.1 – Навантажувальна діаграма вентилятора осьового В-06-300-10А

Номінальну потужність електродвигуна для приводу вентилятора визначається за умови :

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

$$P_{\text{дв.ном}} \geq P_{\text{роз.в}} = \frac{K_3 L p}{\eta_в \cdot \eta_{\text{пер}}} \quad (3.10)$$

де $K_{\text{зап}}$ - коефіцієнт запасу, який залежить від типу і потужності електродвигуна, для осьових вентиляторів потужністю 1,1-2 кВт $K_{\text{зап}}=1,1$;

$\eta_{\text{пер}}$ - ККД передачі; оскільки вал електродвигуна і вал вентилятора з'єднані жорстко, то $\eta_{\text{пер}} = 1$

Звідси

$$P_{\text{дв.ном}} \geq P_{\text{роз.в}} = \frac{1,1 \cdot 0,00777 \cdot 157}{1 \cdot 0,77} = 1,74 \text{ кВт}$$

Попередньо вибираємо електродвигун АИР100L6. Оскільки механічна передача між двигуном і вентилятором відсутня, то вибираємо двигун загального призначення з синхронною частотою обертання 1000 об/хв.

Технічна характеристика двигуна АИР100L6: $U_{\text{н}}=380 \text{ В}$, $f_{\text{н}}=50 \text{ Гц}$, $P_{\text{н}}=2,2 \text{ кВт}$; ; $n_{\text{ном}}=950 \text{ об/хв}$; $I_{\text{ном}}=5,65 \text{ А}$; $\eta_{\text{ном}}=0,81$; $\cos \varphi_{\text{ном}}=0,73$; $k_{\text{min}}=1,6$; $k_{\text{max}}=2,2$; $k_{\text{пуск}}=2,0$; $k_i=6$; $j=13 \cdot 10^{-3} \text{ кг м}^2$.

Виконаємо перевірку вибраного електродвигуна на відповідність параметрам робочої машини. Для цього за каталожними даними електродвигуна будуємо його природну механічну характеристику $M_{\text{дв}}=f(n)$ $M_{\text{дв}}=f(n)$, що відображає залежність обертового моменту від частоти обертання ротора.

Для побудови характеристики визначаємо координати п'яти основних точок: синхронної швидкості, номінального режиму, критичного моменту, мінімального моменту та пускового моменту.

Першою визначаємо координати точки 1 АА, яка відповідає режиму синхронної швидкості електродвигуна. У цій точці ковзання дорівнює нулю, а обертовий момент двигуна відсутній.

$M_{\text{ст.}} = 0$ – статичний момент синхронного холостого ходу,

$S = 0$ – ковзання синхронного холостого ходу, звідси

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

$$\omega_c = \frac{\pi \cdot n_c}{30} = \frac{3.14 \cdot 1000}{30} = 104.72 \text{ c}^{-1} \quad (3.11)$$

Визначаємо координати 2 (В) точки - номінального режиму роботи

$$M_{ном.дв.} = \frac{P_{ном} \cdot 10^3}{\omega_n} = \frac{2,2 \cdot 10^3}{99,484} = 22,114 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.12)$$

де $M_{ном.дв.}$ - номінальний обертовий момент електродвигуна, Н•м;

$P_{ном}$ - номінальна потужність електродвигуна, кВт;

n_n - номінальна частота обертання електродвигуна, об/хв.

$$S_{ном.} = \frac{n_c - n_n}{n_c} = \frac{1000 - 950}{1000} = 0,05 \quad (3.13)$$

де $S_{ном.}$ - номінальне ковзання двигуна;

n_c - синхронна частота обертання, об/хв;

n_n - номінальна частота обертання, об/хв;

$$\omega_{ном.} = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = 99,484 \text{ c}^{-1} \quad (3.14)$$

Визначаємо координати точки 3 (С) – критичного моменту:

$$M_{max} = \mu_{max} \cdot M_{ном.} = 2,2 \cdot 22,114 = 48,651 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.15)$$

$$S_{max} = \frac{S_{ном.} + \sqrt{S_{ном.} \cdot \frac{\mu_{max} - 1}{\mu_n - 1}}}{1 + \sqrt{S_{ном.} \cdot \frac{\mu_{max} - 1}{\mu_n - 1}}} = 0,465 \quad (3.16)$$

де μ_{max} - кратність максимального моменту двигуна, 2,2;

μ_n - кратність пускового моменту двигуна;

$$\omega_{max} = \omega_c \cdot (1 - S_{max}) = 104,72 \cdot (1 - 0,465) = 56,06 \text{ c}^{-1} \quad (3.17)$$

Визначаємо координати 4 (D) точки - точка мінімального моменту :

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{\min} = \mu_{\min} \cdot M_{\text{ном.}} = 1,6 \cdot 22,114 = 35,383 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.18)$$

де $\mu_{\min}$ - кратність мінімального моменту двигуна, 1,6 ;

$$S_{\min} = 0,8$$

$$\omega_{\min} = \omega_c \cdot (1 - S_{\min}) = 104,72(1 - 0,8) = 20,944 \text{ с}^{-1} \quad (3.19)$$

Визначаємо координати 5 точки - точка пускового моменту:

$$M = M_{\text{пуск}}; \quad S = 1; \quad \omega = 0;$$

$$M_{\text{пуск}} = \mu_{\text{пуск.}} \cdot M_{\text{ном.}} = 2 \cdot 22,114 = 44,228 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.20)$$

З урахуванням вимог нормативної документації та допустимих виробничих відхилень фактичні значення критичного, мінімального і пускового моментів електродвигуна можуть бути меншими за номінально вказані каталожні значення. Тому для більш об'єктивної перевірки працездатності приводу необхідно визначити уточнені значення моментів із урахуванням можливого зниження їх величини.

$$M'_{\max} = \mu_{\max} \cdot M_{\text{ном.}} \cdot 0,9 = 2,2 \cdot 22,114 \cdot 0,9 = 43,786 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.21)$$

$$M'_{\min} = \mu_{\min} \cdot M_{\text{ном.}} \cdot 0,8 = 1,6 \cdot 22,114 \cdot 0,8 = 28,306 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.22)$$

$$M'_{\text{пуск}} = \mu_{\text{пуск.}} \cdot M_{\text{ном.}} \cdot 0,85 = 2 \cdot 22,114 \cdot 0,85 = 37,594 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.23)$$

Оскільки обертовий момент асинхронного електродвигуна залежить від квадрата прикладеної напруги, зниження напруги живлення призводить до відповідного зменшення моменту на валу. Тому для перевірки надійності пуску необхідно розрахувати та побудувати штучну механічну характеристику двигуна з урахуванням допустимого падіння напруги на 5 % від номінального значення.

При цьому розраховуємо за формулою :

$$M'' = (0,95)^2 \cdot M', \quad (3.24)$$

де M - відповідні значення моментів електродвигуна, Н*м;

Отримаємо :

$$M''_{\text{ном.дв.}} = M_{\text{ном.дв.}} \cdot 0,95^2 = 22,114 \cdot 0,95^2 = 19,958 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

$$M''_{\max} = \mu_{\max} \cdot M_{\text{ном}} \cdot 0,9 \cdot 0,95^2 = 2,2 \cdot 22,114 \cdot 0,9 \cdot 0,95^2 = 35,664 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M''_{\min} = \mu_{\min} \cdot M_{\text{ном}} \cdot 0,8 \cdot 0,95^2 = 1,6 \cdot 22,114 \cdot 0,8 \cdot 0,95^2 = 23,056 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{пуск}} = \mu_{\text{пуск}} \cdot M_{\text{ном}} \cdot 0,85 \cdot 0,95^2 = 2 \cdot 22,114 \cdot 0,85 \cdot 0,95^2 = 30,621 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Отримані розрахункові значення, необхідні для побудови природної та штучних механічних характеристик електродвигуна АИР100L6, узагальнюємо в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Розрахункові дані для побудови механічних характеристик електродвигуна АИР100L6

Параметр	0	0,05	0,465	0,8	1	Характеристика
ss	0	0,05	0,465	0,8	1	Ковзання
ω , с^{-1}	104,72	99,484	56,06	20,944	0	Кутова швидкість
ММ, Н·м	0	22,114	48,651	35,383	44,228	Природна характеристика
М'М', Н·м	0	22,114	43,786	28,306	37,594	Штучна характеристика при $\Delta U = -5\%$
М''М'', Н·м	0	19,958	35,664	23,056	30,621	Штучна характеристика з урахуванням відхилення моментів $\Delta M \Delta M$

Механічну характеристику робочої машини, тобто вентилятора, будуємо на основі залежності моменту опору від кутової швидкості. Для цього використовуємо рівняння, яке враховує початковий момент опору, номінальний момент вентилятора та характер зміни навантаження під час розгону.

$$M_c = M_o + (M_{c.\text{ном}} - M_o) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{ном.м}}} \right)^x \quad (3.25)$$

де M_c – момент опору робочої машини при кутовій швидкості ω , Н·м ;

M_o – початковий момент опору робочої машини;

$M_{c.\text{ном}}$ – момент статичного опору робочої машини при номінальній кутовій швидкості, Н·м;

ω – поточні значення кутової швидкості робочої машини, с^{-1} ;

$\omega_{\text{ном}}$ – номінальна кутова швидкість робочої машини с^{-1} ;

x – показник степення, що характеризує зміну статичного моменту опору від кутової швидкості. $x=2$;

а) номінальний момент вентилятора

$$M_{c.ном} = 9550 \frac{P_{в.н}}{n_{в.н}} = 9550 \frac{1,584}{930} = 16,26 \quad (3.26)$$

б) номінальна кутова швидкість вентилятора

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{3,14 \cdot 930}{30} = 97,389 \quad (3.27)$$

в) момент зрушення:

$$M_0 = 0,1 \cdot M_{c.ном} = 0,1 \cdot 16,26 = 1,626 \quad (3.28)$$

Таблиця 3.2.

Розрахункові дані для побудови механічної характеристики вентилятора В-06-300-10А.

$\omega_{р.м.}, \text{с}^{-1}$	0	20	40	60	80	100	120
$M_c, \text{Н} \cdot \text{м}$	1,626	2,244	4,096	7,183	11,505	17,061	23,85

Підставляючи прийняті значення кутової швидкості ω у рівняння механічної характеристики вентилятора, визначаємо відповідні значення моменту опору робочої машини. Отримані результати заносимо до таблиці 3.2.

За даними таблиць 3.1 і 3.2 будуємо механічні характеристики електродвигуна АИР100L6 та вентилятора В-06-300-10А. Їх графічне порівняння дає змогу оцінити відповідність електропривода навантаженню та визначити запас обертового моменту під час пуску. Побудовані характеристики наведено на рис. 3.2.

На основі механічних характеристик визначаємо динамічну характеристику електропривода:

$$M_{\text{дин}} = f(\omega),$$

де динамічний момент дорівнює різниці між моментом електродвигуна та моментом опору вентилятора:

$$M_{\text{дин}} = M_{\text{дв}} - M_{\text{с}}.$$

Побудову динамічної характеристики виконуємо графічним методом за даними рис. 3.2. Далі за цією характеристикою визначаємо тривалість пуску електродвигуна $t_{\text{пн}}$.

Для цього криву динамічного моменту поділяємо на окремі ділянки за кутовою швидкістю. Для кожної ділянки графічно визначаємо середнє значення динамічного моменту, після чого обчислюємо час розгону на відповідному інтервалі.

Загальна тривалість пуску електродвигуна визначається як сума часу розгону на всіх ділянках:

$$t_{\text{п}} = \sum_{i=1}^n \Delta t_i, \quad (3.29)$$

де Δt_i - час пуску двигуна на i -тій ділянці, с.

$$\Delta t_i =$$

$$\frac{j_{\text{зв}} \cdot \Delta \omega_i}{M_{\text{дин.сер.}}} \quad (3.30)$$

де $j_{\text{зв}}$ - зведений момент інерції до валу електродвигуна, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;
 $\Delta \omega_i$ - частота обертання на i -тій ділянці, рад/с ;
 $\Delta M_{\text{дин.сер}}$ - середній динамічний момент на i -тій ділянці, $\text{Н} \cdot \text{м}$ (з рис.3.2).

$$j_{\text{зв}} = j_{\text{рот.дв}} + j_{\text{р.м}} \quad (3.31)$$

де $j_{\text{р.м}}$ - момент інерції обертових частин робочої машини вентилятора, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

$j_{\text{рот.дв}}$ - момент інерції ротора ел.двигуна, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

$$j_{\text{рот.дв}} = 13 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Звідси

$$j_{зв} = j_{рот} + j_{р.м} = 13 \cdot 10^{-3} + 52 \cdot 10^{-3} = 65 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Таблиця 3.3

Розрахунок тривалості пуску електродвигуна

Показник	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\Delta\omega\Delta\omega, \text{с}^{-1}$	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	3
Мдин.сер Мдин.сер, Н·м	26,5	22,5	22,3	24,5	27,5	28,5	26,5	21,5	15,5	7,5	1,5
$\Delta t_i \Delta t_i, \text{с}$	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,08	0,13
	453	8888	914	653	363	280	453	023	193	666	
$t_{птп}, \text{с}$	0,02	0,05	0,08	0,10	0,13	0,15	0,18	0,21	0,25	0,33	0,46
	453	341	255	908	271	551	004	027	220	886	886

За результатами розрахунку сумарна тривалість пуску електродвигуна становить:

$$t_{пт} = 0,46886 \text{ с.}$$

Отримане значення свідчить про те, що розгін електродвигуна відбувається за короткий проміжок часу, а динамічний момент на ділянках пуску є достатнім для подолання моменту опору вентилятора.

Далі визначаємо підвищення температури обмотки статора протягом одного пуску $\theta_{пуск}, ^\circ\text{С}$. Така перевірка необхідна для оцінювання теплового стану електродвигуна під час пускового режиму, оскільки в цей момент струм двигуна перевищує номінальне значення і спричиняє додаткове нагрівання обмоток.

Перевірку електродвигуна за тепловим режимом під час пуску виконуємо за формулою:

$$\tau_{доп} \geq \tau_{факт} = v_t \cdot t_n, \quad (3.25)$$

де $\tau_{доп}$ – допустиме перевищення температури обмотки над температурою охолоджуючого середовища, $^\circ\text{С}$ (для класу ізоляції В – 80°С , для класу F – 100°С); $\tau_{факт}$ – фактичне перевищення температури в кінці періоду пуску електродвигуна, $^\circ\text{С}$; v_t – швидкість наростання температури обмотки при

загальмованому роторі, °C/с; $t_{\text{п}}$ – час пуску електродвигуна, с. Для двигунів АИР $\tau_{\text{доп}}$ приймають 80 °C.

$$80^{\circ}\text{C} > 5,0 \cdot 0,46886 = 2,34^{\circ}\text{C}$$

Отже, за результатами теплової перевірки встановлено, що під час пуску перевищення температури обмоток електродвигуна не досягає допустимого значення. Це підтверджує можливість безпечної роботи двигуна в прийнятому режимі пуску без ризику перегрівання.

Додаткову перевірку вибраного електродвигуна на перевантажувальну здатність не виконуємо, оскільки вентилятор працює з відносно сталим навантаженням, а споживана потужність робочої машини є меншою за номінальну потужність двигуна.

Оскільки механічна характеристика вентилятора розміщується в допустимій зоні механічної характеристики електродвигуна, прийнятий двигун забезпечує необхідний пусковий і робочий моменти. Отже, електродвигун вибрано правильно і він відповідає умовам роботи приводу вентилятора.

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

розгону електродвигуна $\omega = \oint(t)$; -характеристика зміни моменту електродвигуна за час розгону $M_{дв} = \oint(t)$.

3.3. Розрахунок і вибір пускозахисних апаратів та низьковольтних комплектних пристроїв керування

Виконаємо перевірку та підбір пускозахисної апаратури для електропривода вентилятора, параметри якого були визначені в попередньому підрозділі. Для цього попередньо формуємо розрахункову схему електропривода, на основі якої здійснюється вибір апаратів керування, захисту та комутації. Відповідна розрахункова схема наведена на рисунку 3.3.

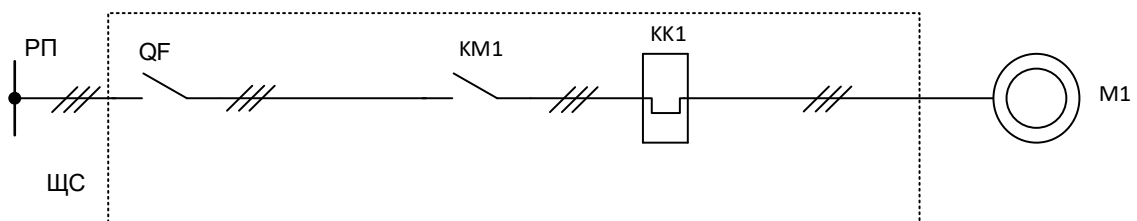


Рис. 3.3 – Однолінійна схема підключення електродвигуна.

Технічні дані електродвигуна вентилятора В-06-300-10А.

Визначаємо пускові струми електродвигуна за формулою:

$$I_{пуск} = I_{дв.ном} \cdot k_i = 5,65 \cdot 5,5 = 31,08 \text{ А}$$

Умови вибору автоматичного вимикача в колі живлення двигуна:

- 1) номінальна напруга апарата, повинна бути не нижче номінальної напруги мережі: $U_{на} \geq U_{мережі}$;

$$380\text{В} \geq 380\text{В}$$

- 2) за номінальним струмом – так, щоб номінальний струм автоматичного вимикача був не менше номінального струму керованого двигуна: $I_{на} \geq I_{н.дв}$;

$$8\text{А} \geq 5,65$$

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

- 3) за номінальним струмом розчіплювачів максимального струму – так, щоб номінальний струм розчіплювачів був не менше номінального струму керованого двигуна: $I_{н.розч.} \geq I_{н.дв.}$

$$8A \geq 5,65A$$

- 4) вибирають кратність відсічки $K_{відс.}$;

$$K_{відс.} = 10$$

Вибраний вимикач перевіряють на неспрацювання при пуску двигуна за умовою:

$$I_{відс.} = K_{відс.} \cdot I_{н.розч.} \geq K_z \cdot K_{py} \cdot K_{pnc} \cdot K_I \cdot I_{н.дв.},$$

де $I_{відс.}$ – струм відсічки електромагнітного розчіплювача, А; K_z – коефіцієнт запасу, $K_z = 1,1$; K_{py} – коефіцієнт, що враховує розкид уставки теплового розчіплювача, $K_{py}=1,25$; K_{pnc} – коефіцієнт, що враховує можливе відхилення пускового струму від його каталогового значення, $K_{pnc}=1,2$; K_I – кратність пускового струму; $I_{н.дв.}$ – номінальний струм двигуна.

$$10 \cdot 8 = 80 A \geq 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,2 \cdot 5,65 = 51,27 A$$

Вибираємо автоматичний вимикач QF1 марки ABL SURSUM C8T3(з $I_{ном}=8A$ та типом захисної характеристики C).

Визначаємо тип провідника, переріз струмоведучих жил та спосіб прокладання лінії живлення від щита керування до електродвигуна вентилятора.

Вибір перерізу жил електропроводки виконуємо з урахуванням таких умов:

- Тривало допустимий струм провода повинен бути більшим за робочий (номінальний) струм електродвигуна:

$$I_{доп} \geq I_{дв.ном.},$$

- на відповідність січення проводів апарату захисту:

$$I_{доп} \geq k I_{у.а.},$$

де $k = 1$ – коефіцієнт кратності допустимого струму провідника по відношенню до номінального струму захисного апарата.

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За першою умовою приймаємо $q = 1,5 \text{ мм}^2$ для якого за передбачених умов прокладання $I_{\text{доп}} = 19 \text{ А} > 5,65 \text{ А}$.

За другою умовою: $I_{\text{доп}} = 19 \text{ А} > k I_{y.a} = 18 = 8 \text{ А}$,

де $I_{y.a} = 8 \text{ А}$ – номінальний струм уставки захисного апарата.

Обидві умови виконуються.

Приймаємо провід марки YnKY -4x1,5 RE, з перерізом жил $F = 1,5 \text{ мм}^2$

Для дистанційного керування роботою двигуна вибираємо магнітний пускач серії ПМЛ, виконуючи такі умови вибору :

1. $U_{n.ном} \geq U_{мер}$

2. $I_{n.ном} \geq I_{дв.ном}$

3. $I_{n.ном} \geq I_{пуск} / 6;$

4. За конструктивним виконанням;

5. $U_{кот} = U_{мер.кер},$

$U_{кот}$ - номінальна напруга котушки пускача, В ;

$I_{n.пускача}$ - номінальний струм пускача, А ;

$I_{т.р}$ - номінальний струм теплового реле, А ;

$U_{мер.кер}$ - напруга мережі кола керування, В.

Перевіримо умови вибору:

1. $U_{п.ном} = 380 \text{ В} > U_{мер} = 380 \text{ В};$

2. $I_{п.ном} = 10 \text{ А} > I_{дв.ном} = 5,65 \text{ А};$

3. $I_{п.ном} = 10 \text{ А} > 31,08/6 = 5,175 \text{ А};$

4. $U_{кот} = 220 \text{ В} = U_{мер.кер} = 220 \text{ В}.$

Для керування електродвигуном приймаємо електромагнітний пускач серії ПМЛ-1100О4В. Номінальна напруга пускача становить $U_{п.ном}=380$, номінальний струм $I_{п.ном}=10$, напруга котушки керування $U_{кот}=220 \text{ В}$.

Вибраний апарат є нереверсивним магнітним пускачем без теплового реле, з одним допоміжним замикаючим контактом, без вбудованих кнопок

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

керування та сигнальних ламп. Виконання пускача відповідає загальнокліматичним умовам експлуатації та категорії розміщення 4.

Перевірку прийнятого магнітного пускача виконуємо за умовою надійної комутації електродвигуна в режимі АС-3:

5. $I_{п.ном} = 10 \text{ А} \geq I_{пуск1} / 6 = 31,08 / 6 = 5,18 \text{ А}$, як видно умова виконується.

Вибираємо електротеплове реле серії РТЛ:

КК1: РТЛ-1010О4 з межами не спрацювання (3,8...7,0) А.

Отже, прийняті апарати керування та захисту відповідають розрахунковим умовам і можуть бути використані для роботи електропривода вентилятора.

Як низьковольтний комплектний пристрій для даного електропривода приймаємо ящик типу 5115-2374УКЛ2. Він забезпечує розміщення комутаційної та захисної апаратури, а також безпечне керування електродвигуном у заданих умовах експлуатації.

Результати вибору пускозахисної апаратури та низьковольтних комплектних пристроїв наведено у графічній частині дипломного проєкту на аркушах 3а і 3б.

Для розподілу електричної енергії у приміщеннях ПТО і РЕО приймаємо розподільний пункт ПР11-3115. На вводі передбачаємо встановлення автоматичного вимикача ВА47-31, а на відхідних лініях - автоматичних вимикачів ВА47-29.

Для живлення освітлювальної мережі вибираємо ящик освітлення ЯОУ-8505 з автоматичним вимикачем ВА47-31 на вводі та автоматичними вимикачами на відхідних лініях. Прийняті рішення відображені на аркушах 1 і 2 графічної частини дипломного проєкту.

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

4. РОЗРОБКА ПРИЛАДОВОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ

4.1. Загальні вимоги щодо встановлення та експлуатації засобів обліку і управління електроспоживанням.

Розрахункові засоби обліку електричної енергії, технічні пристрої контролю та керування електроспоживанням, а також вимірювальні прилади для контролю показників якості електроенергії повинні встановлюватися відповідно до вимог ПУЕ-2017, чинного Кодексу комерційного обліку електричної енергії та прийнятих проектних рішень.

Відповідальність за справний технічний стан засобів обліку покладається на організацію, на балансі якої вони перебувають, або на підприємство, що здійснює їх експлуатацію згідно з укладеним договором. Це передбачає своєчасне технічне обслуговування, контроль працездатності, дотримання умов експлуатації та організацію перевірки вимірювальних засобів у встановлені строки.

Збереження, цілісність розрахункових лічильників електричної енергії, трансформаторів струму, кіл обліку, пломб та інших елементів вузла обліку забезпечує власник обладнання або організація, на території чи в приміщенні якої вони встановлені. Відповідальність визначається актом про пломбування та актом приймання засобів обліку на збереження.

Для комерційного обліку електричної енергії допускається застосування лише тих засобів вимірювальної техніки, які дозволені до використання в Україні та відповідають установленим метрологічним вимогам. Такі прилади повинні мати чинну повірку, відповідний клас точності та технічні характеристики, що забезпечують достовірне вимірювання спожитої електроенергії.

Місце встановлення розрахункових засобів обліку визначається з урахуванням вимог ПУЕ-2017, технічних умов на приєднання або

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

реконструкцію електроустановки, а також затверджених проєктних рішень. При цьому необхідно забезпечити захист обладнання від механічних пошкоджень, несанкціонованого доступу, впливу вологи, пилу, підвищеної температури та інших несприятливих факторів.

Засоби обліку електричної енергії повинні розміщуватися так, щоб відповідальні працівники енергопостачальної організації, оператора системи розподілу, органів енергетичного нагляду та персонал підприємства мали можливість безперешкодно здійснювати огляд, зняття показників, перевірку технічного стану, контроль пломб і виконання регламентних робіт. Це є необхідною умовою забезпечення достовірного обліку, оперативного контролю споживання та ефективного функціонування системи автоматизованого моніторингу витрат енергоносіїв.

4.2. Вимоги постачальника щодо встановлення та експлуатації засобів трифазних інтегральних (багатотарифних) лічильників, що застосовуються в АСКОЕ.

Споживач має право самостійно придбати засіб вимірювальної техніки, який відповідає вимогам Кодексу комерційного обліку, Закону України "Про метрологію та метрологічну діяльність" та іншим нормативно-правовим актам, що містять вимоги до таких засобів вимірювальної техніки, та надати його постачальнику послуг комерційного обліку для встановлення на своєму об'єкті відповідно до договору про надання послуг комерційного обліку.

4.3. Розробка схеми обліку електроенергії

Для організації обліку електричної енергії в складі програмно-апаратного комплексу приймаємо багатофункціональний електронний лічильник GAMMA-300 типу G3B.147 виконання 240.F67.B2.P4.C330.A3.L1.M1 з

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

трансформаторною схемою включення. Такий засіб обліку забезпечує вимірювання активної та реактивної електроенергії, підтримує роботу в багатотарифному режимі та може використовуватися у складі автоматизованих систем комерційного обліку. Основні параметри вибраних лічильників і трансформаторів струму наведено в таблиці 3.2.

Для дистанційного передавання вимірювальної інформації застосовуємо контролер збору даних MCL 5.82. Контролер, зображений на рис. 4.1, є автономним пристроєм, призначеним для зчитування, накопичення, первинної обробки та передавання даних на сервер моніторингу. Він забезпечує роботу з однофазними й трифазними лічильниками електричної енергії, які мають відповідні цифрові інтерфейси зв'язку. Використання такого контролера дозволяє автоматизувати процес отримання показників, зменшити вплив людського фактора та забезпечити оперативний контроль витрат електроенергії. Технічні характеристики контролера збору даних MCL 5.82 подано в таблиці 3.3.



Рис. 3.3 - Контролер збирання даних MCL 5.82

Таблиця 3.3

Основні технічні характеристики контролера збору даних MCL 5.82

Показник	Значення
Максимальна кількість лічильників, що можуть одночасно підключатися до контролера, шт.	1000
Обсяг енергонезалежної пам'яті, МБ	300
Обсяг оперативної пам'яті, МБ	60
Тактова частота центрального процесора, МГц	180
Робоча частота радіомодуля, ГГц	2,4

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Продовження таблиці 3.3

Вихідна потужність радіомодуля, dBm	+17
Робочі діапазони GSM/GPRS-модема, МГц	900 / 1800 / 1900
Клас відповідності GSM	Class 4 — 2 W при 900 MHz; Class 1 — 1 W при 1800/1900 MHz
Номінальна напруга живлення, В	220
Допустимий робочий діапазон напруги живлення, В	143–400
Споживана потужність, Вт	не більше 10

Наведені характеристики підтверджують можливість використання контролера MCL 5.82 у складі автоматизованої системи моніторингу витрат електроенергії. Пристрій має достатній обсяг пам'яті для накопичення архівних даних, підтримує підключення великої кількості лічильників та забезпечує передавання інформації через GSM/GPRS-канал зв'язку. Завдяки широкому діапазону напруги живлення контролер може стабільно працювати в умовах можливих коливань параметрів електричної мережі.

4.4. Програмний продукт «Енергоцентр»

Програмний комплекс «Енергоцентр», розроблений компанією «VIK-SOFT», може використовуватися як складова автоматизованої системи моніторингу витрат енергоносіїв. Його застосування дає змогу організувати централізоване збирання, збереження, оброблення та аналіз даних комерційного й технічного обліку електричної енергії. Система орієнтована на роботу з великою кількістю точок обліку та забезпечує отримання інформації з лічильників через різні канали зв'язку, зокрема Ethernet, PLC та радіоканал.

Основними функціональними можливостями комплексу є:

- автоматизоване збирання показників електроспоживання з приладів обліку;

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

- передавання даних від лічильників без втрати точності незалежно від кількості споживачів і структури об'єкта;
- дистанційний контроль балансу електроенергії між вводами, секціями, фідерами та окремими споживачами;
- фіксація несанкціонованих втручань у роботу системи обліку завдяки використанню незалежної пам'яті в апаратних засобах;
- можливість віддаленого керування підключенням або відключенням абонентів від електричної мережі;
- масштабування системи за рахунок підключення нових точок обліку та розширення мережі опитування.

АСОЕ «Енергоцентр» побудована за модульним принципом. Така структура підвищує гнучкість системи та дає можливість використовувати її як на великих розподілених об'єктах, так і в локальних системах обліку одного підприємства. Модульна побудова також спрощує модернізацію програмного комплексу, оскільки функціональні можливості можна розширювати поступово, відповідно до потреб користувача та особливостей об'єкта моніторингу.

Для мінімального завдання «тільки читання даних» система забезпечує опитування приладів обліку та збереження отриманої інформації в базі даних. Надалі ці дані можуть використовуватися іншими інформаційними системами підприємства, зокрема системами диспетчеризації, енергоменеджменту або аналітичної обробки. У цьому випадку зовнішня система отримує необхідну інформацію безпосередньо із СУБД.

Ядром програмного комплексу є система керування базами даних. «Енергоцентр» підтримує роботу з поширеними СУБД, зокрема PostgreSQL, MS SQL та Oracle. У базі даних зберігається довідкова інформація про точки обліку, прилади, канали зв'язку, графіки опитування, архівні показники та результати обробки даних.

Модуль «Конфігуратор» призначений для налаштування структури системи. За його допомогою задаються параметри приладів обліку, точки

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підключення, канали передавання даних, довідкова інформація, правила групування споживачів та планувальник автоматичного опитування.

Модуль «Опитувач» виконує безпосереднє зчитування даних з приладів обліку відповідно до заданої конфігурації та розкладу. Опитування може здійснюватися як у ручному, так і в автоматичному режимі. Модуль може працювати у вигляді служби або окремого виконуваного файлу, що дає змогу адаптувати його до різних варіантів експлуатації системи.

Для завдання «зчитування та передавання даних стороннім системам» програмний комплекс забезпечує отримання показників з лічильників, збереження їх у СУБД, формування файлів установленого формату та передавання інформації до інших програмних комплексів або організацій.

Модуль «Мейл сервер» призначений для автоматичного або ручного формування файлів даних у заданих форматах і передавання їх обраним каналом зв'язку. Передавання може виконуватися через FTP, електронну пошту або інші передбачені засоби обміну інформацією. Модуль також може працювати як служба або як окремий виконуваний застосунок.

Для аналізу накопичених даних у системі передбачено набір функціональних модулів, які дають змогу формувати балансові звіти, порівнювати споживання за періодами, оцінювати роботу окремих вузлів обліку та виявляти відхилення у витратах електроенергії.

Модуль «АРМ Оператора» забезпечує перегляд оперативної та статистичної інформації за окремими точками обліку або їх групами. Дані можуть подаватися у табличному, текстовому або графічному вигляді, що спрощує контроль поточного стану електроспоживання та аналіз динаміки навантаження.

Модуль «Генератор Звітів» використовується для створення звітних документів різної складності. Формування звітів може виконуватися на базі MS Excel або OpenOffice, що забезпечує зручність подальшого редагування, друку та передавання результатів аналізу.

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Модуль «Ручне введення» застосовується у випадках, коли неможливо тимчасово організувати автоматичний доступ до певного вузла обліку. За його допомогою відповідальний працівник може вручну внести показники, щоб забезпечити повноту інформаційної бази системи.

Модуль «Мнемосхема» призначений для візуального відображення даних у вигляді графічних схем об'єкта. Це дає можливість оператору швидко оцінити стан вузлів обліку, контролювати параметри споживання та отримувати сигналізацію у разі виникнення відхилень або аварійних ситуацій.

Після запуску програмного комплексу відкривається основне вікно, у якому здійснюється налаштування та подальша робота із системою. Інтерфейс програми побудований у вигляді набору функціональних вкладок, через які користувач отримує доступ до конфігурації, опитування приладів, перегляду даних, формування звітів і контролю стану точок обліку. Основне вікно програми наведено на рис. 4.1.

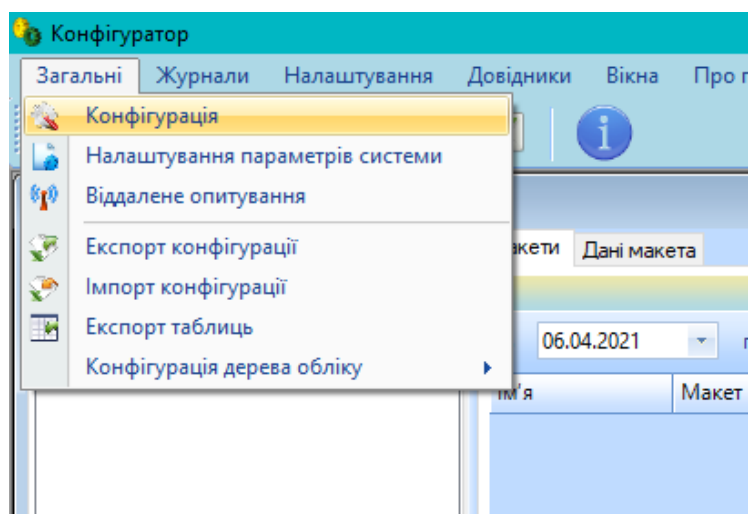


Рис.- 4.1. Основне вікно програми.

4.5. Налаштування автоматизованого робочого місця енергетика

Для коректної роботи автоматизованого робочого місця енергетика необхідно попередньо сформувати перелік точок обліку, які будуть використовуватися для збирання, аналізу та відображення даних про

споживання електричної енергії. Точки обліку доцільно об'єднувати в ієрархічну структуру, що відображає реальну схему електропостачання об'єкта.

Типова структура дерева точок обліку має такий вигляд:

Підприємство → Підстанція → Шина → Фідер → Прилад обліку

У такій структурі верхнім рівнем є підприємство або об'єкт моніторингу, нижче розміщуються підстанції, секції шин, відхідні фідери та безпосередньо прилади обліку електричної енергії. Такий підхід спрощує навігацію в системі, дає змогу швидко знаходити потрібний лічильник і виконувати аналіз споживання як по окремій точці, так і по групі електроприймачів.

4.6. Налаштування автоматизованого опитування лічильників

Опис налаштування опитування УСПД розглянемо на прикладі взаємодії з іншим екземпляром системи «Енергоцентр». Якщо до програмного комплексу необхідно додати пристрій збору та передавання даних, наприклад суматор імпульсних входів або джерело реплікації даних із СУБД, у системі потрібно створити нову точку опитування. Для цієї точки задаються параметри доступу, тип джерела даних, спосіб з'єднання та інші налаштування, необхідні для коректного отримання інформації.

Після створення точки опитування необхідно виконати прив'язку відповідного пристрою. Для цього в меню вибирається команда «Прив'язати пристрій до точки опитування». У вікні переліку наявних УСПД користувач може вибрати вже створений пристрій або додати новий. У даному випадку для підключення використовується тип пристрою «БД ЕнергоЦентр (ТОВ “Вік-Софт”)), що забезпечує отримання даних з бази іншої системи «Енергоцентр» відповідно до заданих параметрів доступу. Налаштування такого підключення наведено на рис. 4.7.

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

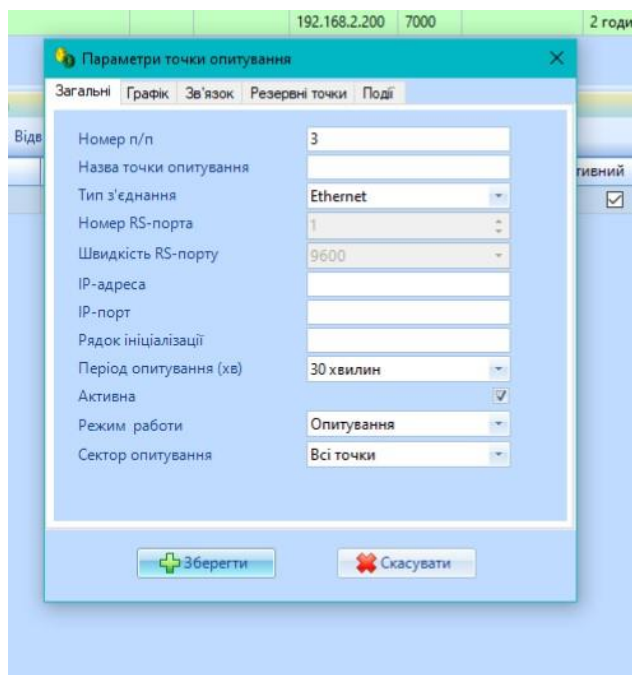


Рис.- 4.7. Скріншот програми.

Основні параметри налаштування УСПД включають:

1. Тип - вибирається зі списку пристроїв збору та передавання даних, які підтримуються програмним комплексом.
2. Опис - назва пристрою, під якою він буде відображатися в системі.
3. Серійний номер - умовний ідентифікатор пристрою, який може задаватися у вигляді довільного числового значення.
4. Вигляд графіка - параметр, актуальний переважно для реального УСПД; під час роботи з джерелом даних на основі СУБД він фактично не використовується.
5. Код фідера / ID у базі даних - додатковий ідентифікатор, який у певних конфігураціях може застосовуватися для зв'язування пристрою з відповідним фідером.
6. Дата встановлення - дата введення пристрою в експлуатацію.
7. Дата зняття - дата виведення пристрою з експлуатації, якщо він більше не використовується в системі.

Після створення УСПД і його прив'язки до відповідної точки опитування пристрій стає доступним у головному вікні програмного комплексу. На

наступному етапі необхідно прив'язати до нього всі лічильники, з яких передбачається отримання даних. Приклад налаштування наведено на рис. 4.8.

Отже, у системі формується резервна точка опитування, яка може отримувати інформацію з іншої бази даних «Енергоцентр». Такий підхід підвищує надійність автоматизованого моніторингу, оскільки у разі недоступності основних точок опитування дані можуть бути отримані з альтернативного джерела.

4.7. Формування макетів автоматизованого опитування лічильників

Форма опису складу файлів призначена для налаштування обміну даними між програмним комплексом «Енергоцентр» та зовнішніми інформаційними системами. Обмін може виконуватися як у режимі приймання, так і в режимі передавання даних.

У системі підтримуються такі формати інформаційного обміну:

- базові XML-макети: 30818, 30817, 30917, 4024;
- формат УППД, що використовується відповідно до вимог ДП «Енергоринок»;
- формат PARADOX, який застосовується в окремих енергопостачальних організаціях;
- розширений набір XML-макетів, зокрема 30900 та інші;
- формат MS Excel на основі попередньо заданого шаблону;
- формати білінгових систем, зокрема XML та інші структури даних;
- користувацький формат, структура якого створюється безпосередньо в системі.

У вікні налаштування задаються лише параметри відповідних макетів обміну. Безпосереднє формування, приймання та передавання файлів виконує модуль MailServer, який може працювати як системна служба або як окремий прикладний модуль. Якщо MailServer запущено на сервері, створення та

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

редагування макетів може виконуватися з будь-якого клієнтського робочого місця через модуль «Конфігуратор».

У правій частині вікна відображається перелік макетів, що належать до вибраного вузла, а також панель інструментів для роботи з ними. До складу кожного макету входять параметри формату, службова інформація, правила формування файлу, напрям обміну та інші налаштування, необхідні для коректної взаємодії з зовнішніми системами. Приклад структури макету наведено на рис. 4.9.

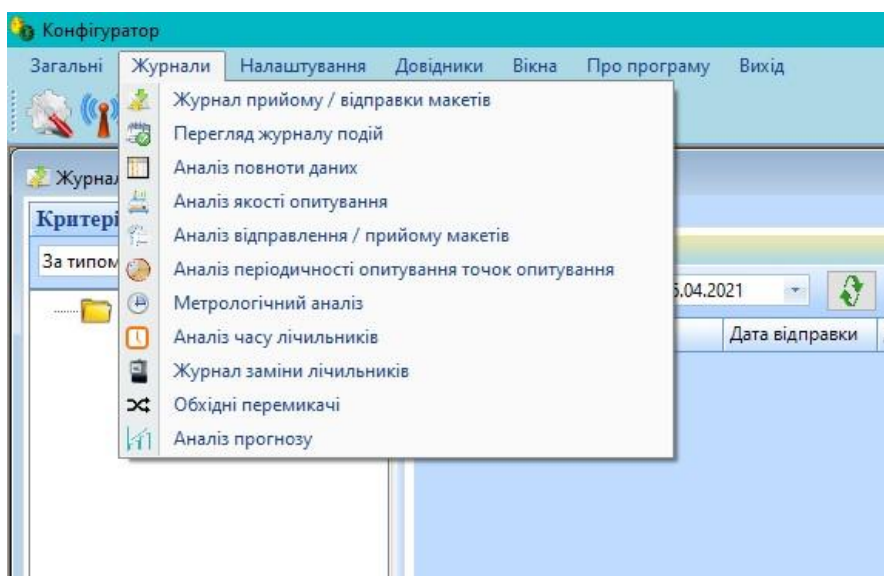


Рис.-4.9. Скріншот програми «Створення макету».

Створення нового макету обміну даними виконується через вікно створення або редагування макету. На першому етапі заповнюється закладка «Головні», у якій задаються базові параметри файлу обміну для автоматизованої системи моніторингу витрат електричної енергії.

До основних параметрів макету належать:

- Назва- довідкове найменування макету, під яким він буде відображатися у системі;
- Тип макету- вибір формату файлу з переліку підтримуваних системою варіантів;

- Завдання активне- параметр, що визначає, чи буде макет формуватися автоматично за заданим розкладом;
- Транспорт- канал передавання або приймання даних, який попередньо налаштовується на відповідній закладці;
- Маска файлу- унікальний шаблон імені файлу, за яким система створює файл макету перед його подальшим надсиланням або обробкою;
- Код об'єкта- ідентифікатор об'єкта обліку, який використовується для більшості типів макетів і дає змогу пов'язати файл з конкретним підприємством, підстанцією або групою точок обліку.

Під час налаштування маски файлу відкривається окреме вікно, у якому задається структура імені файлу. У цьому вікні користувач визначає, який постійний текст потрібно додавати до назви, чи необхідно включати дату та час формування, а також задає саму маску файлу. Для перевірки правильності налаштування передбачено поле «Тест», у якому відображається приклад сформованого імені файлу. Це дозволяє одразу перевірити, чи відповідає назва файлу вимогам системи обміну даними.

На закладці «Макет» задаються додаткові параметри формування інформаційного файлу. Вони визначають порядок обробки показників лічильників, формат представлення даних і правила підготовки файлу для передавання до зовнішніх систем.

До основних додаткових налаштувань належать:

- Враховувати коефіцієнт лічильників - визначає, чи будуть показники множитися на розрахунковий коефіцієнт трансформації;
- Переворот напрямків - використовується у випадках, коли напрямок обліку в системі споживача і в системі енергопостачальної організації трактується по-різному, наприклад А+ та А-;
- Надсилання тільки повних даних- забезпечує формування і передавання макету лише за умови наявності повного набору даних по всіх фідерах, групах або точках обліку;

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Без півгодинок 49, 50- дозволяє не включати до добового макету додаткові півгодинні інтервали, які можуть використовуватися під час переходу часу;
- Тип даних- визначає, які саме значення будуть передаватися: без урахування втрат, з урахуванням втрат або окремо самі втрати;
- Наприкінці рядка- задає службові символи або роздільники, які додаються в кінці кожного рядка файлу;
- Одиниці вимірювання- визначають, у яких одиницях передаються дані, наприклад кВт або МВт;
- Маска дати- встановлює формат подання дати в заголовку або службових рядках макету;
- Десятковий роздільник- визначає символ, який використовується для відокремлення дробової частини числових значень;
- Подання нульового значення- задає спосіб відображення нульових показників, наприклад цифрою «0» або порожнім полем;
- Додаткові символи в кінці рядка- визначають наявність двокрапок, переходів рядка або інших службових елементів форматування.

Налаштування макету обміну даними забезпечує коректне формування файлів для передавання показників електроспоживання до зовнішніх інформаційних систем. Це є важливою складовою програмно-апаратного комплексу автоматизованого моніторингу витрат енергоносіїв, оскільки дає змогу стандартизувати обмін даними, зменшити кількість ручних операцій і забезпечити сумісність із системами енергопостачальних організацій, білінговими платформами та внутрішніми системами енергоменеджменту підприємства.

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. ЗАХОДИ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ

5.1 Аналіз та обробка інформації на ЕОМ

Дані щодо фактичного споживання енергоносіїв відображаються у програмному комплексі на закладці «Споживання». Цей розділ призначений для перегляду, аналізу та порівняння показників електроспоживання за вибраними точками обліку. Користувач може отримувати інформацію як із розподілом за зонами доби, так і без такого поділу, що дає змогу оцінювати загальний обсяг споживання або деталізувати його відповідно до тарифних періодів.

На закладці передбачено вибір періоду аналізу: доба, місяць, довільний проміжок часу або останнє наявне значення в базі даних. Також користувач може задавати напрямок обліку електричної енергії: A+, A-, R+, R-, що дозволяє окремо аналізувати активну та реактивну енергію в різних напрямках передавання.

Основні функції закладки «Споживання»:

- вибір одного або кількох каналів обліку електричної енергії;
- перегляд даних за окремою точкою обліку або групою точок;
- вибір способу подання інформації: без розбивки або за заданими тарифними зонами;
- формування звіту за добу, місяць або довільний період;
- перегляд останніх значень, збережених у базі даних;
- вибір періоду з точним зазначенням початкового та кінцевого часу;
- побудова добових значень із нестандартною початковою точкою відліку;
- перемикання одиниць відображення між кВт і МВт.

Режим «Останнє значення» використовується для швидкої перевірки актуальності даних у базі та визначення останнього часу успішного опитування приладів обліку. Режим «Період з часом» дає змогу аналізувати споживання не

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

тільки від 00:00, а й у межах довільного інтервалу, наприклад з 09:00 однієї доби до 09:00 наступної. Це зручно для підприємств, де робочі зміни або виробничі цикли не збігаються з календарною добою.

Добові та тижневі графіки електроспоживання використовуються для виявлення пікових навантажень, нерівномірності споживання, нічних втрат, відхилень у роботі обладнання та оцінювання ефективності заходів з енергозбереження. Приклади відображення добового й тижневого графіків електроспоживання наведено на рис. 5.1 та рис. 5.2.

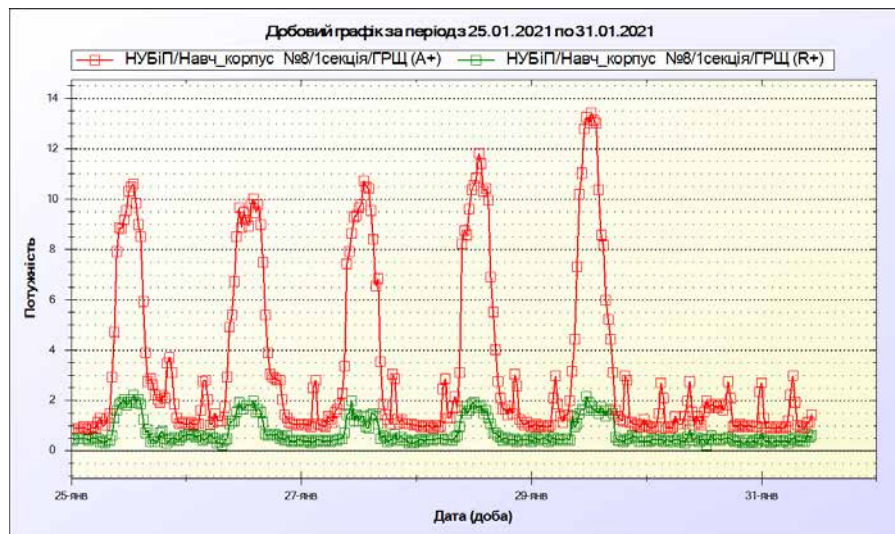


Рис.- 5.1. Добові графіки навантажень впродовж тижня.

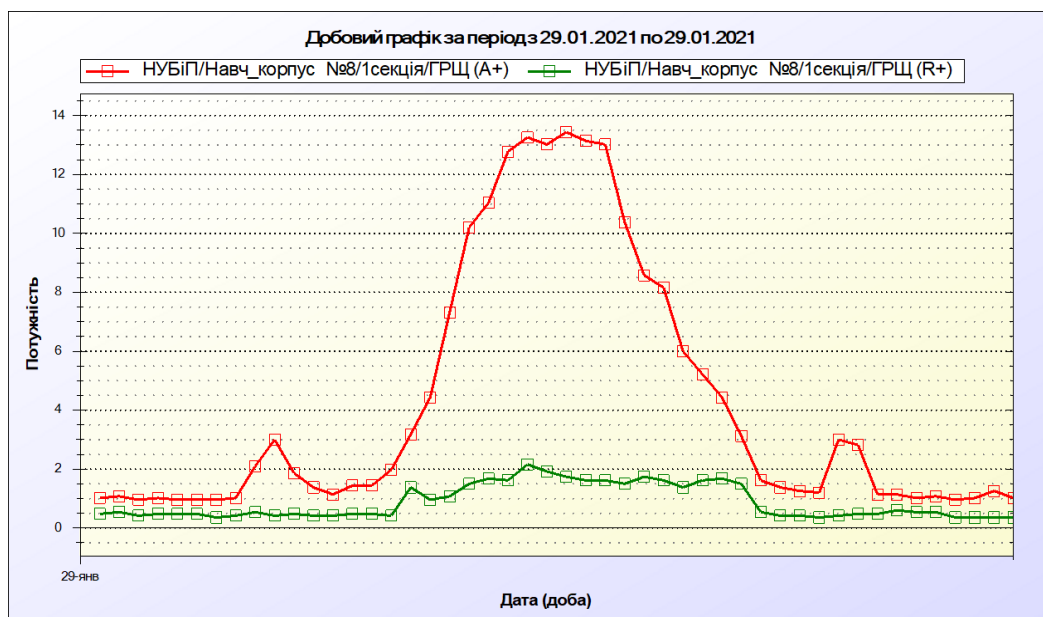


Рис.- 5.2. Добовий графік навантажень.

5.2. Аналіз небалансів

У великих системах автоматизованого моніторингу важливим етапом аналізу є визначення небалансу електричної енергії. Такий аналіз дає змогу порівнювати обсяги електроенергії, що надходять на підстанцію, з обсягами, які розподіляються через шини та фідери. Результати розрахунку використовуються для виявлення втрат, помилок обліку, некоректного підключення приладів або відхилень у роботі окремих вузлів електропостачання.

Наименование	Наименование группы	Принем	Отдача	Значение	Небаланс	Допустимый небаланс
ПАО "САН Инбел"	10 кВ	1754194.8	0	1754194.8	100%	
ГП НПО "Прогресс"	0,4 кВ	8202703708.10164	0	8202703708.10164	100%	
ГП НПО "Прогресс"	10 кВ	69752.8316	0	69752.8316	100%	
ООО "Палерия"	10 кВ	8202633955.27004	0	8202633955.27004	100%	
ООО "Палерия"	10 кВ	156825	0	156825	100%	
ПАО "Черн. хлебоп."	0,4 кВ	36739.92	0	36739.92	100%	
ПАО "Млибор"	0,4 кВ	39704.4	0	39704.4	100%	
ПАО "Млибор"	10 кВ	9533.4	0	9533.4	100%	
ПАО "Млибор"	10 кВ	30171	0	30171	100%	
Малтореп Юкре...	10 кВ	591070	0	591070	100%	
ООО Новифил	10 кВ	1130232	0	1130232	100%	
ООО Новифил	0,4 кВ	1107906	0	1107906	100%	
Аметист	10 кВ	521720	0	521720	100%	
Аметист	10 кВ	521720	0	521720	100%	
Плассбокс	10 кВ	518520	0	518520	100%	
Плассбокс	10 кВ	518520	0	518520	100%	
ППКФ "Промете...	10 кВ	575769.5	0	575769.5	100%	
ДП "Аромат" фи...	10 кВ	66820	0	66820	100%	
ДП "Аромат" фи...	10 кВ	66820	0	66820	100%	

Рис. 5.3 – Аналіз небалансу електричної енергії

Для коректної роботи модуля аналізу необхідно, щоб структура об'єкта в системі відповідала ієрархії: Підстанція → Шина → Фідер → Прилад обліку. Крім того, у модулі «Конфігуратор» потрібно задати параметри кожного фідера, який бере участь у розрахунках. До таких параметрів належать напрямок обліку, клас точності засобів вимірювання, коефіцієнти трансформації та інші технічні дані, що впливають на правильність визначення небалансу.

Розрахунок небалансу виконується окремо по шинах і загалом по підстанції. Для цього система використовує показники приладів обліку на початок і кінець заданого періоду. Деталізація результатів по конкретній

підстанції може виконуватися на основі графіка навантаження, що дозволяє визначити періоди, у яких відхилення були найбільшими.

Окремо в системі передбачена форма «Аналіз пікового навантаження». Вона призначена для визначення максимальних значень потужності за 30-хвилинними інтервалами в межах вибраних зон доби. На відміну від звичайного перегляду споживання по окремих фідерах, ця форма дає змогу отримати сумарну картину пікового навантаження по всьому підприємству або вибраному вузлу обліку.

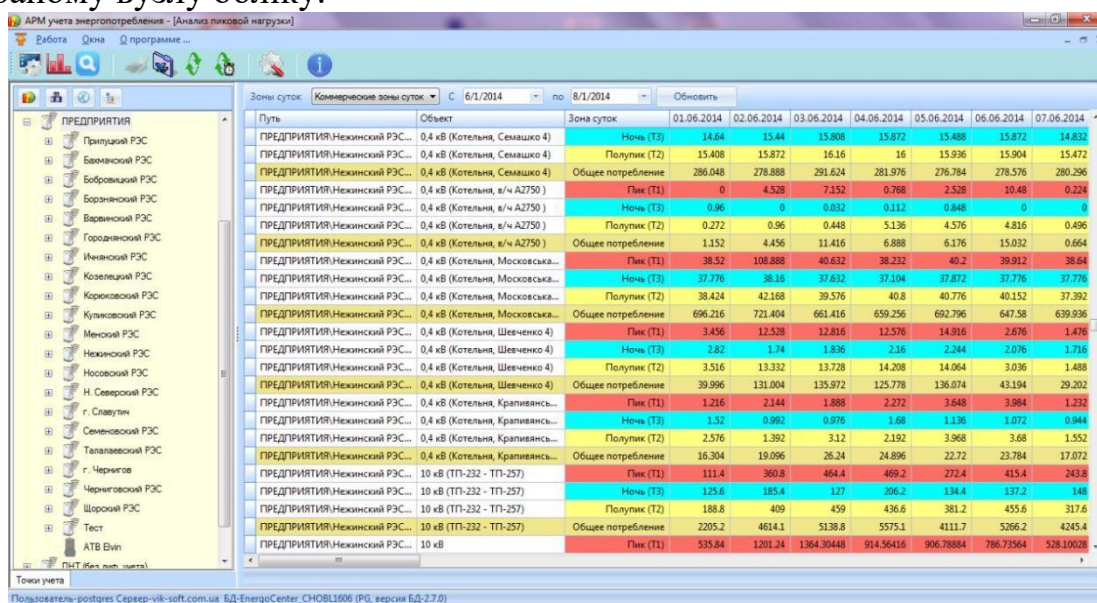


Рис. 5.4 – Аналіз пікового навантаження

Використання аналізу небалансу та пікових навантажень дає можливість оперативно оцінювати якість роботи системи електропостачання, виявляти перевантажені ділянки, контролювати достовірність облікових даних і визначати напрями для подальшого зниження витрат електричної енергії.

5.3 Прогнозування споживання електричної енергії

Методика формування підсистеми прогнозування споживання електричної енергії передбачає послідовне виконання кількох етапів: аналіз результатів пасивного експерименту на реальному виробничому або навчальному об'єкті, формування вибірки вимірювальних даних, побудову

математичних моделей споживання та подальшу програмно-апаратну реалізацію модуля прогнозування. Такий підхід дає змогу перейти від простого накопичення показників електроспоживання до їх аналітичної обробки та оцінювання майбутніх режимів роботи об'єкта.

Під час дослідження процесу споживання електричної енергії виникає необхідність визначення залежностей між окремими факторами та фактичними витратами електроенергії. На величину споживання можуть впливати тривалість роботи обладнання, режим експлуатації приміщень, температура зовнішнього середовища, графік навчального або виробничого процесу, кількість працюючих електроприймачів та інші показники. Встановлення таких взаємозв'язків є складним завданням, оскільки залежності між параметрами не завжди мають лінійний або очевидний характер.

Для виявлення статистичного зв'язку між двома або кількома змінними доцільно застосовувати методи кореляційного аналізу. Вони дозволяють оцінити, наскільки зміна одного показника пов'язана зі зміною іншого, а також визначити силу та напрям цього зв'язку за наявними експериментальними даними. У межах даної роботи для аналізу використовуються результати моніторингу електроспоживання об'єкта «Навчальний корпус №8», наведені в таблиці 5.1.

Кореляційний аналіз дає можливість перевірити статистичну гіпотезу щодо наявності або відсутності зв'язку між досліджуваними змінними із заданим рівнем довірчої ймовірності. Якщо зв'язок між параметрами підтверджується, отримані результати можуть бути використані для побудови прогнозної моделі споживання електричної енергії.

Для кількісного оцінювання тісноти зв'язку між змінними найчастіше застосовують лінійний коефіцієнт кореляції. Якщо задано експериментальні значення змінних XX та YY , його визначають за формулою:

$$r_{XY} = r_{YX} = \frac{\overline{XY} - \bar{X} \cdot \bar{Y}}{\sigma_X \cdot \sigma_Y}. \quad (5.1)$$

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Коефіцієнт кореляції може набувати значень у межах від -1 до $+1$, де знак показує напрям зв'язку, а абсолютна величина характеризує його щільність. Для інтерпретації результатів приймають такі орієнтовні межі:

якщо $|r| < 0,30$, зв'язок між показниками вважається слабким;

якщо $0,30 \leq |r| \leq 0,70$, зв'язок має помірний характер;

якщо $|r| > 0,70$, зв'язок є сильним або тісним;

якщо $|r| = 1$, між змінними існує функціональна залежність;

якщо $|r| \approx 0$, лінійна залежність між X та Y практично відсутня.

Водночас відсутність лінійного зв'язку не завжди означає повну незалежність досліджуваних параметрів. У таких випадках між змінними може існувати нелінійна залежність, що потребує додаткового аналізу та застосування інших методів математичної обробки даних.

Таблиця 5.1

Результати моніторингу споживання електричної енергії об'єкта «Навчальний корпус №8»

Розташування	Точка обліку	Канал обліку	Дата	Споживання кВт.год			
Разом		A+					
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/1/2021	31,50	31,50	31,50	31,50
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/2/2021	35,22	35,22	35,22	35,22
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/3/2021	38,28	38,28	38,28	38,28
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/4/2021	61,23	61,23	61,23	61,23
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/5/2021	44,16	44,16	44,16	44,16
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/6/2021	38,22	38,22	38,22	38,22
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/7/2021	22,80	22,80	22,80	22,80
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/8/2021		24,66	24,66	24,66
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/9/2021		22,74	22,74	22,74
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/10/2021		26,04	26,04	26,04
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/11/2021		109,29	109,29	109,29
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/12/2021		123,45	123,45	123,45
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/13/2021		71,37	71,37	71,37
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/14/2021		70,41	70,41	70,41
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/15/2021			89,67	89,67
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/16/2021			68,58	68,58
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/17/2021			39,42	39,42
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/18/2021			92,31	92,31
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/19/2021			93,51	93,51
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/20/2021			100,59	100,59
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/21/2021			85,35	85,35
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/22/2021				80,40
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/23/2021				31,98
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/24/2021				31,41
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/25/2021				86,85
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/26/2021				94,47
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/27/2021				89,16
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/28/2021				94,47
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/29/2021				101,49
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/30/2021				34,59
Навч. корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/31/2021				12,75

Під час аналізу складніших залежностей, коли на споживання електричної енергії одночасно впливають кілька факторів, доцільно використовувати коефіцієнт множинної кореляції. Він характеризує тісноту зв'язку між залежною змінною, тобто величиною електроспоживання, та сукупністю незалежних змінних, які включені до розрахунку. Такий показник дає змогу оцінити, наскільки повно вибрані фактори пояснюють зміну споживання електричної енергії на досліджуваному об'єкті.

$$R = \sqrt{\frac{\sigma_{Y \text{ теор}}^2}{\sigma_Y^2}}, \quad (5.2)$$

де $\sigma_{Y \text{ теор}}^2 = \frac{\sum (y_{i \text{ теор}} - \bar{y})^2}{n}$ – факторна дисперсія; $\sigma_Y^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n} = \overline{y^2} - \bar{y}^2$ – загальна дисперсія.

Коли оцінюється щільність зв'язку між результативною Y та двома факторними ознаками X_1, X_2 , то множинний коефіцієнт кореляції можна визначити за формулою:

$$R_{y/x_1x_2} = \sqrt{\frac{r_{yx1}^2 + r_{yx2}^2 - 2 \cdot r_{yx1} \cdot r_{yx2} \cdot r_{x1x2}}{1 - r_{x1x2}^2}}, \quad (5.3)$$

де r – парні коефіцієнти кореляції між ознаками.

Множинний коефіцієнт кореляції змінюється в межах від 0 до 1 і є позитивною величиною: $0 < R < 1$ [8]:

$R \leq 0,3$ – зв'язок практично відсутній (або не всі важливі фактори взаємозв'язку враховані, або вибрано невірну форму рівняння регресії; необхідно переглянути змінні, що увійшли в модель, і, можливо, її вид);

$0,3 < R \leq 0,5$ – слабкий зв'язок;

$0,5 < R \leq 0,7$ – помірний зв'язок;

$R > 0,7$ – сильний зв'язок.

Кінцевим результатом пасивного експерименту є визначення характеру та щільності зв'язку між досліджуваними змінними, що дає змогу оцінити можливість подальшого прогнозування споживання електричної енергії. Такий підхід дозволяє не лише проаналізувати накопичені дані, а й встановити, чи можуть вони бути використані для побудови математичної моделі електроспоживання.

У процесі оброблення результатів моніторингу виникла потреба у встановленні найбільш імовірних взаємозв'язків між добовими показниками споживання електроенергії. З цією метою було виконано кореляційний аналіз, за результатами якого визначено лінійний коефіцієнт кореляції. Його значення становить $r=0,71$, що свідчить про наявність тісного прямого зв'язку між досліджуваними показниками, оскільки отримане значення перевищує межу 0,700,70. Графічне відображення результатів кореляційного аналізу наведено на рис. 5.1.

Отримані результати підтверджують, що між добовими рівнями електроспоживання існує виражена лінійна залежність. Це дає підстави використовувати класичні методи математичного аналізу, зокрема кореляційний і регресійний підходи, для формалізації залежностей та подальшого прогнозування витрат електричної енергії. Тому під час розроблення концепції автоматизованої системи моніторингу й регулювання електроспоживання навчальних корпусів НУБіП України доцільно застосовувати відповідний математичний апарат для аналізу, оцінювання та прогнозування режимів споживання.

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

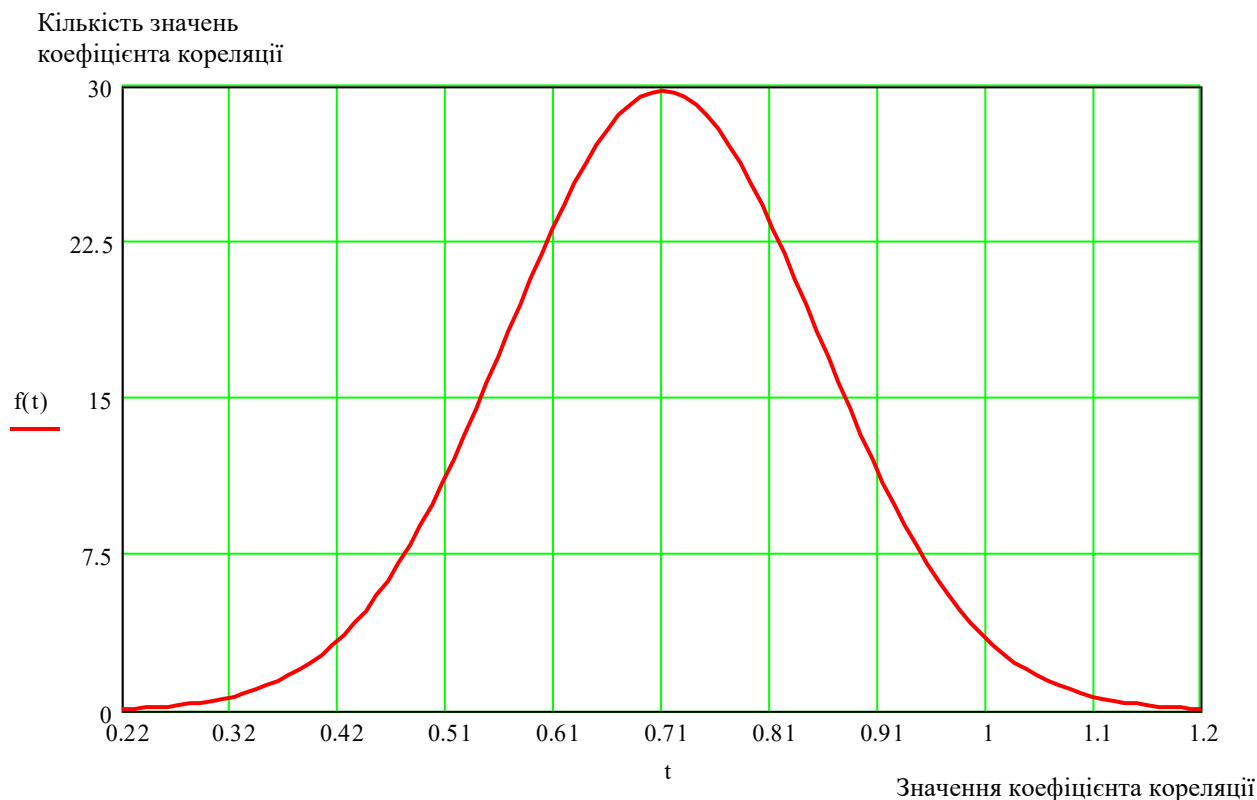


Рис 5.1. Оцінка результатів лінійного кореляційного аналізу щоденного добового споживання електричної енергії

Аналіз матеріалів, наведених у таблиці 5.1., дає змогу зробити висновок, що залежність добового споживання електричної енергії кожного дня визначається у вигляді лінійної функції задається рівнянням:

$$y=kx+b,$$

(5.4)

де k , b – коефіцієнти моделі.

Проведемо потижневе прогнозування споживання електричної енергії для навчального корпусу №8. На рисунку 5.2 наведено результати експериментального дослідження, а також побудовану лінію тренду, сформовану за даними семиденного моніторингу електроспоживання. Отримана залежність характеризується високою достовірністю

апроксимації $R^2=0,9876$, що свідчить про добру узгодженість трендової моделі з фактичними значеннями та підтверджує можливість її використання для короткострокового прогнозування.

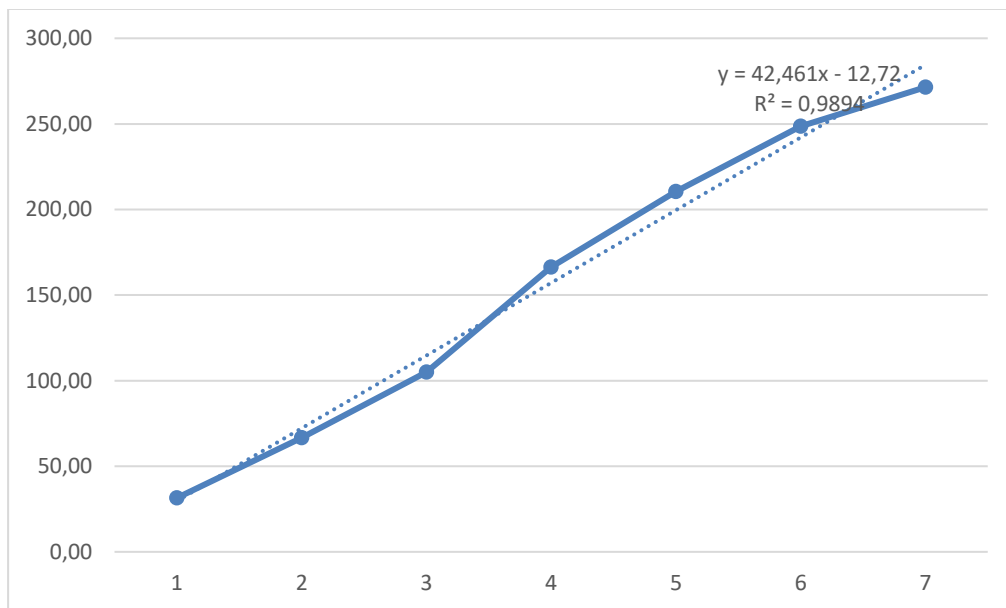


Рис. 5.2. Результати експериментального дослідження та лінія тренду з врахуванням 7 денного моніторингу споживання електричної енергії

Наступним етапом виконаємо прогнозування електроспоживання на основі розширеної вибірки даних. На рисунку 5.3 подано результати експериментального дослідження та побудовану лінію тренду з урахуванням 14-денного моніторингу споживання електричної енергії навчальним корпусом №8. Значення коефіцієнта достовірності апроксимації становить $R^2=0,9449$, що свідчить про достатньо високий рівень відповідності трендової моделі фактичним даним і підтверджує можливість її використання для короткострокового прогнозування електроспоживання.

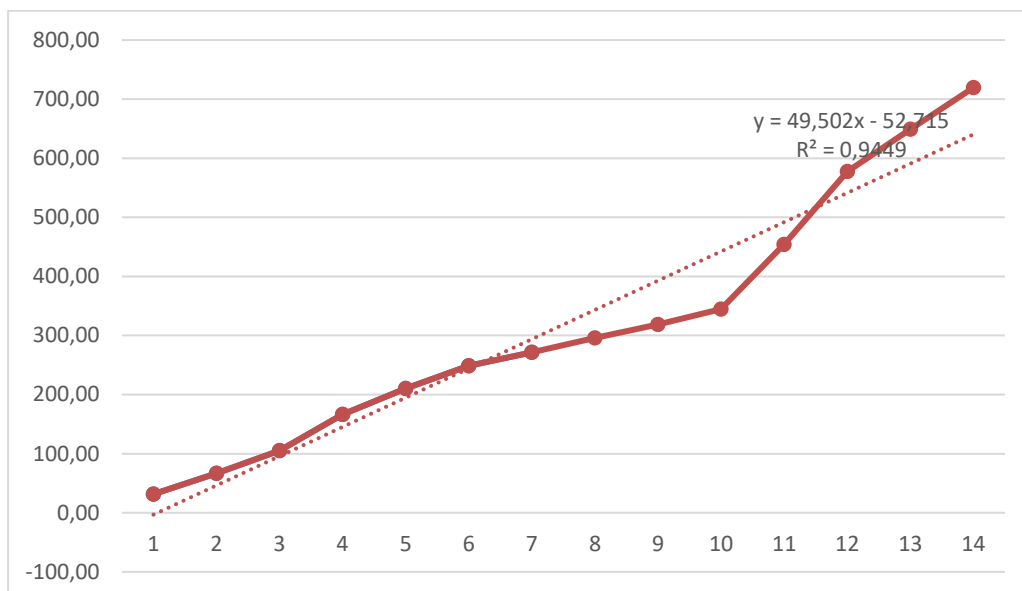


Рис. 5.3. Результати експериментального дослідження та лінія тренду з врахуванням 14 денного моніторингу споживання електричної енергії

На рисунку 5.4 наведено результати експериментального дослідження та побудовану лінію тренду, сформовану за даними 21-денного моніторингу споживання електричної енергії навчальним корпусом №8. Отримане значення коефіцієнта достовірності апроксимації становить $R^2=0,969$, що свідчить про високий рівень узгодженості трендової моделі з фактичними даними. Це підтверджує доцільність використання такої моделі для оцінювання динаміки електроспоживання та формування прогнозних значень на наступні періоди.

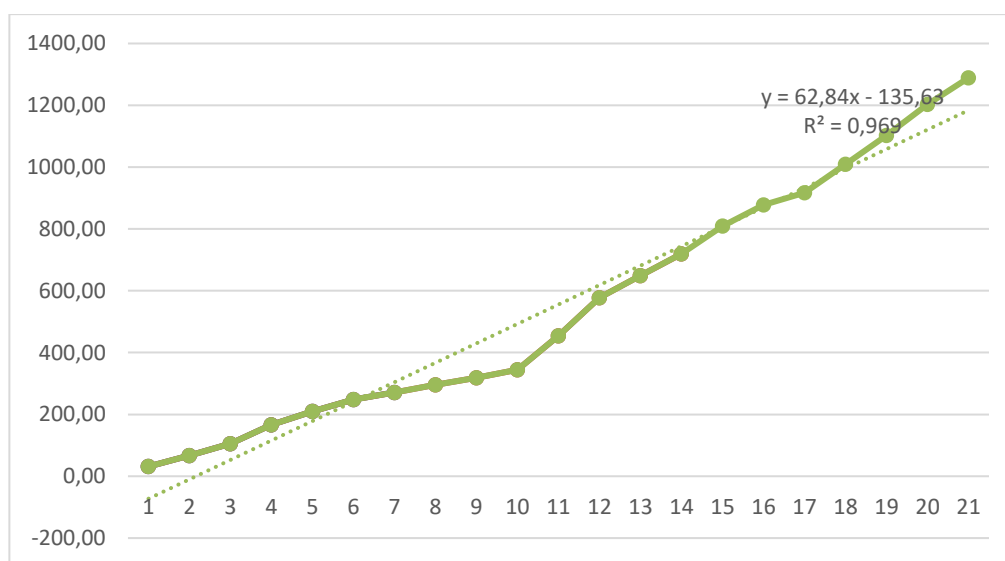


Рис. 5.4. Результати експериментального дослідження та лінія тренду з врахуванням 21 денного моніторингу споживання електричної енергії

На рисунку 5.5 наведено результати експериментального дослідження та лінію тренду, побудовану за даними місячного моніторингу споживання електричної енергії навчальним корпусом №8. Значення коефіцієнта достовірності апроксимації становить $R^2=0,9876$, що вказує на високу відповідність розрахункової трендової залежності фактичним даним. Отриманий результат підтверджує, що місячна вибірка є достатньо інформативною для аналізу динаміки електроспоживання та може бути використана для побудови прогнозу на наступні періоди.

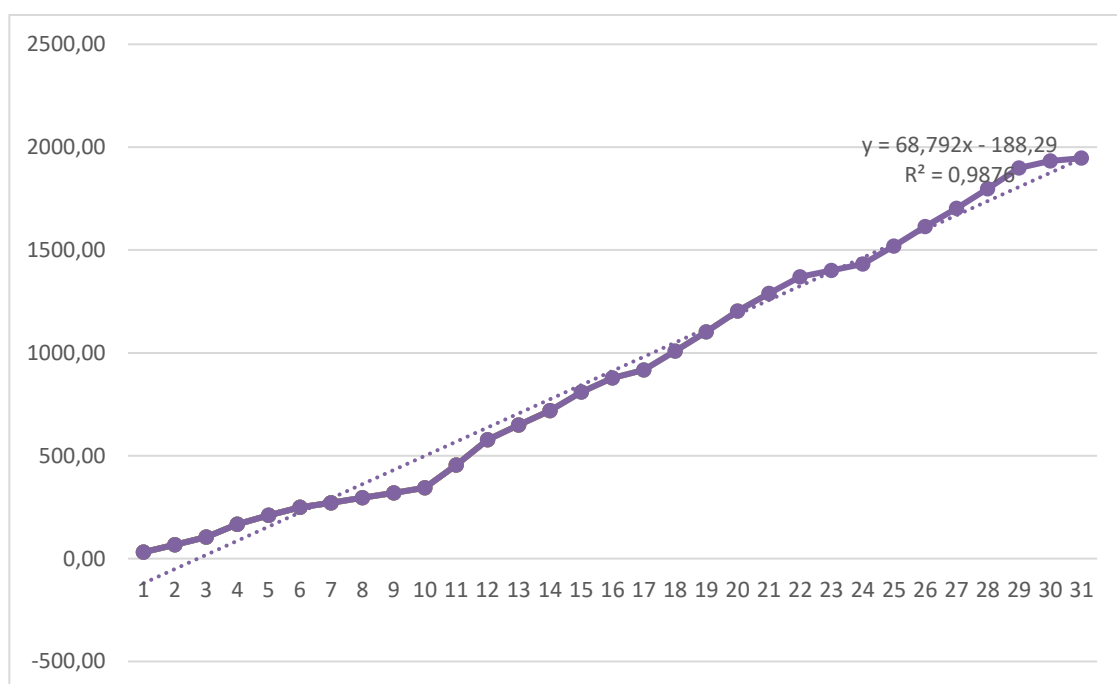


Рис. 5.5. Результати експериментального дослідження та лінія тренду з врахуванням місячного моніторингу споживання електричної енергії

В таблиці 5.2. представлено результати моніторингу споживання електричної енергії «Навчальний корпус №8» та прогноз споживання електричної енергії.

Таблиця 5.2. - Моніторинг та прогноз споживання електричної енергії
«Навчальний корпус №8»

Розташування	Точка обліку	Канал обліку	Дата	Споживання кВт.год				Поточне значення лічильника кВт.год	число
Разом		A+							
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/1/2021	31,50	31,50	31,50	31,50	31,50	1
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/2/2021	35,22	35,22	35,22	35,22	66,72	2
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/3/2021	38,28	38,28	38,28	38,28	105,00	3
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/4/2021	61,23	61,23	61,23	61,23	166,23	4
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/5/2021	44,16	44,16	44,16	44,16	210,39	5
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/6/2021	38,22	38,22	38,22	38,22	248,61	6
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/7/2021	22,80	22,80	22,80	22,80	271,41	7
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/8/2021		24,66	24,66	24,66	296,07	8
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/9/2021		22,74	22,74	22,74	318,81	9
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/10/2021		26,04	26,04	26,04	344,85	10
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/11/2021		109,29	109,29	109,29	454,14	11
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/12/2021		123,45	123,45	123,45	577,59	12
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/13/2021		71,37	71,37	71,37	648,96	13
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/14/2021		70,41	70,41	70,41	719,37	14
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/15/2021			89,67	89,67	809,04	15
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/16/2021			68,58	68,58	877,62	16
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/17/2021			39,42	39,42	917,04	17
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/18/2021			92,31	92,31	1009,35	18
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/19/2021			93,51	93,51	1102,86	19
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/20/2021			100,59	100,59	1203,45	20
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/21/2021			85,35	85,35	1288,80	21
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/22/2021				80,40	1369,20	22
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/23/2021				31,98	1401,18	23
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/24/2021				31,41	1432,59	24
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/25/2021				86,85	1519,44	25
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/26/2021				94,47	1613,91	26
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/27/2021				89,16	1703,07	27
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/28/2021				94,47	1797,54	28
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/29/2021				101,49	1899,03	29
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/30/2021				34,59	1933,62	30
Навч корпус №8	ГРЩ (63210652)	A+	1/31/2021				12,75	1946,37	31
Прогноз				1303,57	1481,85	1812,41	1944,26		
Спожито протягом місяця				1946,34	1946,35	1946,36	1946,37		
Відхилення (%)				33,02	23,87	6,88	0,11	15,97	

Аналіз отриманих результатів показує, що точність прогнозування споживання електричної енергії безпосередньо залежить від обсягу накопичених добових даних, їх достовірності, стабільності режиму роботи об'єкта та особливостей графіка освітнього процесу. Чим більшою є вибірка вимірювань і чим точніше зафіксовано фактичні показники електроспоживання, тим надійнішою є побудована прогнозна модель.

За результатами застосування наведеної методики встановлено можливість прогнозування обсягів споживання електричної енергії на наступний місяць з похибкою до 5 %. Розрахункове значення прогнозованого електроспоживання для навчального корпусу №8 становить 2130,44 кВт·год. Графічне представлення прогнозу наведено на рис. 5.6.

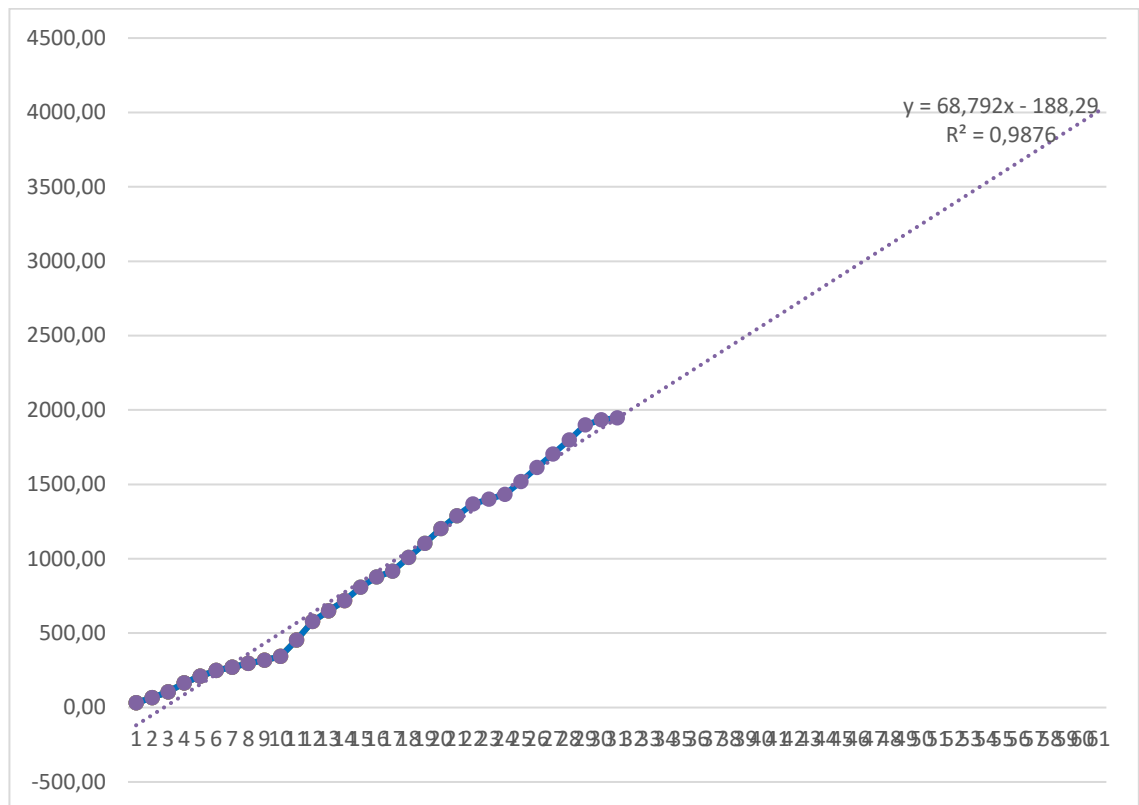


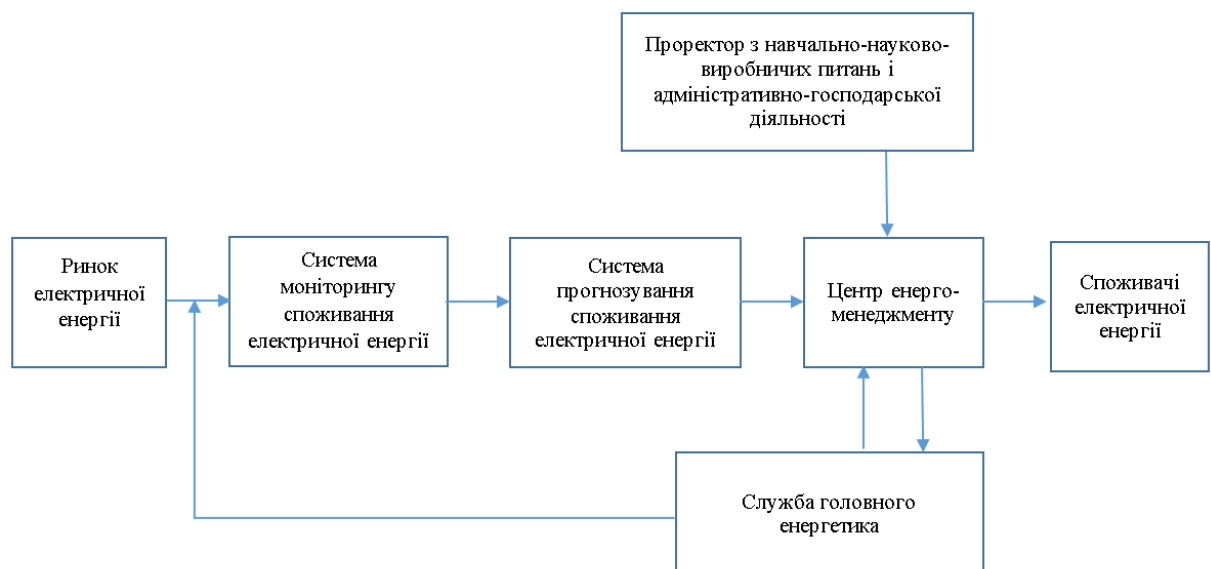
Рис. 5.6. Прогнозування обсягів споживання електричної енергії на наступний місяць

Для відображення загальної структури системи моніторингу та регулювання електроспоживання, функціональних властивостей її складових елементів, а також взаємозв'язків між процесами збирання, оброблення, аналізу та використання даних було розроблено концептуальну модель системи керування, наведену на рис. 5.7.

Концептуальна модель системи моніторингу та регулювання електроспоживання ґрунтується на таких основних положеннях:

- використання автоматизованих робочих місць, об'єднаних у єдину локальну інформаційну мережу з можливістю доступу до зовнішніх і глобальних мереж;
- наявність центрального сервера, на якому зберігається умовно-постійна інформація, довідкові дані, архіви вимірювань і розподілені бази даних;

- оперативне збирання первинної фактичної інформації про електроспоживання в обсязі, достатньому для контролю основних процесів, що відбуваються на об’єкті моніторингу;
- комплексне оброблення первинних даних разом із довідковою та нормативною інформацією з метою формування вихідних показників, необхідних для обліку, звітності, аналізу, прогнозування та підтримки прийняття управлінських рішень;
- забезпечення користувачів достовірною, актуальною та повною інформацією про стан електроспоживання об’єкта в поточний момент часу;
- формування управлінських рішень на основі об’єктивних даних, що характеризують режими роботи електроприймачів, рівень навантаження, динаміку споживання, можливі відхилення та резерви енергозбереження;
- можливість подальшого розширення системи за рахунок підключення нових точок обліку, додаткових модулів аналізу, прогнозування та автоматизованого регулювання електроспоживання.



Рис/ 5.7. Концептуальна структура системи моніторингу та регулювання електроспоживання

Отже, концептуальна структура системи моніторингу та регулювання електроспоживання побудована за принципом замкненого циклу керування. Це означає, що система не лише збирає та аналізує дані про фактичне споживання електричної енергії, а й формує інформаційну основу для прийняття організаційних і технічних рішень. На основі результатів моніторингу, аналізу навантажень, прогнозування та виявлення відхилень здійснюється вплив на режими роботи електроприймачів, графіки використання обладнання та загальний рівень електроспоживання об'єкта.

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

ВИСНОВКИ

У дипломному проєкті виконано дослідження та вдосконалення програмно-апаратного комплексу для автоматизованого моніторингу витрат енергоносіїв. У роботі обґрунтовано актуальність впровадження систем автоматизованого обліку, контролю та аналізу енергоспоживання, оскільки достовірна інформація про фактичні витрати електричної енергії є основою для підвищення енергоефективності, зменшення втрат і прийняття технічно обґрунтованих управлінських рішень.

У першому розділі розглянуто загальні положення енергетичного аудиту, його роль у системі енергозбереження та управління паливно-енергетичними ресурсами. Визначено, що енергоаудит є не лише засобом оцінювання фактичного стану енергоспоживання, а й інструментом пошуку резервів економії енергії. Проаналізовано структуру звіту з енергетичного аудиту, склад його основних розділів та значення енергоаудиторського висновку для подальшого впровадження енергоефективних заходів.

У технологічній частині обґрунтовано вибір пункту технічного обслуговування і діагностування енергообладнання. Виконано розрахунок вентиляції приміщення пункту діагностування, визначено необхідний повітрообмін та підібрано вентиляційне обладнання, яке забезпечує нормативні санітарно-гігієнічні умови праці. Прийнята припливно-витяжна система вентиляції дозволяє підтримувати безпечний повітряний режим у приміщенні під час виконання ремонтних, діагностичних і налагоджувальних робіт.

В електротехнічній частині проведено розрахунок системи освітлення виробничих і допоміжних приміщень. Визначено необхідну кількість світильників, світловий потік, встановлену потужність освітлювальної установки та виконано перевірку освітленості точковим методом. Також здійснено перевірку електродвигуна приводу витяжного вентилятора на відповідність параметрам мережі живлення, режиму роботи та умовам експлуатації. За результатами розрахунків встановлено, що вибраний

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

електродвигун забезпечує необхідний пусковий і робочий моменти, не перегрівається під час пуску та відповідає характеристикам робочої машини.

Окремо виконано вибір пускозахисної апаратури, електропроводки та низьковольтних комплектних пристроїв для електропривода вентилятора. Прийняті апарати керування і захисту відповідають розрахунковим струмам, умовам комутації та вимогам безпечної експлуатації. Для розподілу електричної енергії в приміщеннях пункту технічного обслуговування прийнято відповідні розподільні пристрої та автоматичні вимикачі.

У роботі розглянуто склад програмно-апаратного комплексу автоматизованого моніторингу витрат електричної енергії. Для обліку електроенергії запропоновано використання багатофункціонального електронного лічильника GAMMA-300 трансформаторного включення, а для дистанційного збирання та передавання даних - контролера MCL 5.82. Застосування таких пристроїв забезпечує автоматизоване зчитування показників, накопичення інформації, передавання даних на сервер і зменшення впливу людського фактора під час обліку енергоресурсів.

Проаналізовано можливості програмного комплексу «Енергоцентр», який забезпечує збирання, збереження, оброблення, аналіз і передавання даних обліку електричної енергії. Розглянуто основні модулі системи: СУБД, «Конфігуратор», «Опитувач», «АРМ Оператора», «Генератор Звітів», «Ручне введення», «Мнемосхема» та модулі обміну даними. Встановлено, що модульна структура комплексу дозволяє адаптувати систему до потреб конкретного об'єкта, розширювати кількість точок обліку та забезпечувати взаємодію із зовнішніми інформаційними системами.

У розділі, присвяченому аналізу даних, розглянуто можливості контролю споживання електроенергії за добу, місяць, довільний період, тарифними зонами та напрямками обліку. Описано використання добових і тижневих графіків електроспоживання, аналізу небалансу та пікового навантаження. Це дає змогу виявляти перевантаження, втрати, нераціональні режими роботи обладнання та відхилення у системі електропостачання.

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виконано прогнозування споживання електричної енергії на основі результатів моніторингу навчального корпусу №8. Для аналізу використано методи кореляційного аналізу та побудови трендових залежностей. Встановлено наявність тісного лінійного зв'язку між добовими показниками електроспоживання, що підтверджено значенням коефіцієнта кореляції. Побудовані трендові моделі за 7, 14, 21 день і місячний період показали достатню точність апроксимації, що дозволяє використовувати їх для короткострокового прогнозування електроспоживання.

За результатами прогнозування визначено, що точність розрахунків залежить від кількості та достовірності добових вимірювань, стабільності режиму роботи об'єкта і графіка освітнього процесу. Розрахункове прогнозоване споживання електричної енергії на наступний місяць становить 2130,44 кВт·год з похибкою до 5 %, що підтверджує практичну придатність запропонованої методики для задач енергомоніторингу.

У роботі також сформовано концептуальну модель системи моніторингу та регулювання електроспоживання. Вона побудована за принципом замкненого циклу керування, у якому дані обліку збираються з приладів, передаються до програмного комплексу, обробляються, аналізуються та використовуються для прийняття організаційно-технічних рішень. Такий підхід забезпечує не лише контроль фактичного споживання, а й активний вплив на режими роботи електроприймачів, зменшення пікових навантажень і підвищення енергоефективності об'єкта.

Отже, у дипломному проєкті досягнуто поставленої мети - виконано вдосконалення програмно-апаратного комплексу для автоматизованого моніторингу витрат енергоносіїв. Запропоновані технічні та програмні рішення дозволяють підвищити точність обліку, забезпечити оперативний контроль електроспоживання, автоматизувати формування звітності, виявляти відхилення та прогнозувати майбутні витрати електричної енергії. Практичне значення роботи полягає в можливості використання розроблених рішень для

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

модернізації систем енергомоніторингу навчальних, адміністративних і виробничих об'єктів.

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про енергетичну ефективність : Закон України від 21.10.2021 № 1818-IX // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1818-20>
2. Про енергетичну ефективність будівель : Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2118-19>
3. Про затвердження Правил улаштування електроустановок : наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21.07.2017 № 476 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/v0476732-17>
4. Правила улаштування електроустановок : офіційна сторінка Міністерства енергетики України. URL: <https://mev.gov.ua/storinka/pravyla-ulashtuvannya-elektroustanovok>
5. Про затвердження Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів : наказ Міністерства палива та енергетики України від 25.07.2006 № 258 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z1143-06>
6. Про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів : наказ Міністерства праці та соціальної політики України від 09.01.1998 № 4 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0093-98>
7. Про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок : наказ Держнаглядохоронпраці України від 06.10.1997 № 257 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0011-98>
8. ДСТУ ISO 50001:2020. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання (ISO 50001:2018, IDT). Київ : ДП

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

«УкрНДНЦ», 2020. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=90178

9. ДСТУ ISO 50002:2016. Енергетичні аудити. Вимоги та настанова щодо їх проведення (ISO 50002:2014, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64370

10. ДСТУ ISO 50004:2016. Системи енергетичного менеджменту. Настанова щодо впровадження, супровід та поліпшення системи енергетичного менеджменту (ISO 50004:2014, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64375

11. ДСТУ ISO 50006:2016. Системи енергетичного менеджменту. Вимірювання рівня досягнутої/досяжної енергоефективності з використанням базових рівнів енергоспоживання та показників енергоефективності. Загальні положення та настанова (ISO 50006:2014, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64377

12. ДСТУ ISO 50015:2016. Системи енергетичного менеджменту. Вимірення та верифікація рівня досягнутої/досяжної енергоефективності організацій. Загальні принципи та настанова (ISO 50015:2014, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64379

13. ДСТУ ISO 10012:2005. Системи управління вимірюваннями. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального оснащення (ISO 10012:2003, IDT). Київ : Держспоживстандарт України, 2007. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=52981

14. ДСТУ EN 50110-1:2019. Експлуатування електроустановок. Частина 1. Загальні вимоги (EN 50110-1:2013, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=86316

15. ДСТУ EN 61010-1:2014. Вимоги щодо безпечності контрольно-вимірювального та лабораторного електричного устаткування. Частина 1. Загальні вимоги (EN 61010-1:2010, IDT). Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=84230

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

16. ДСТУ EN IEC 61326-1:2022. Електричне обладнання для вимірювання, контролю та лабораторного використання. Вимоги до електромагнітної сумісності. Частина 1. Загальні вимоги (EN IEC 61326-1:2021, IDT; IEC 61326-1:2020, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=107765

17. ДСТУ EN IEC 61557-12:2022. Електрична безпека в системах розподілу низької напруги до 1000 В змінного струму та 1500 В постійного струму. Обладнання для випробування, вимірювання або моніторингу захисних заходів. Частина 12. Прилади вимірювання та контролю потужності (PMD) (EN IEC 61557-12:2022, IDT; IEC 61557-12:2018, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=107995

18. ДСТУ EN 61557-12:2018. Електробезпечність низьковольтних розподільних електромереж напругою до 1000 В змінного струму та 1500 В постійного струму. Устаткування для випробування, вимірювання або контролювання засобів безпеки. Частина 12. Пристрої для вимірювання та моніторингу робочих характеристик (EN 61557-12:2008, IDT; IEC 61557-12:2007, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79259

19. ДСТУ EN 50160:2023. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності (EN 50160:2022, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=106226

20. ДСТУ EN 61000-4-30:2022. Електромагнітна сумісність (ЕМС). Частина 4-30. Методи випробування та вимірювання. Методи вимірювання якості електроенергії (EN 61000-4-30:2015, IDT; IEC 61000-4-30:2015, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=106274

21. ДСТУ IEC 61000-4-7:2012. Електромагнітна сумісність. Частина 4-7. Методи випробування та вимірювання. Загальна настанова щодо вимірювання гармонік та інтергармонік від електропостачальних систем

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

загальної призначеності й допоміжного устаткування (IEC 61000-4-7:2009, IDT). Київ : Мінекономрозвитку України, 2012.
URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=29280

22. ДСТУ EN 62586-1:2016. Вимірювання якості електроенергії в системах електроживлення. Частина 1. Прилади для вимірювання параметрів якості електроенергії (PQI) (EN 62586-1:2014, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=71638

23. ДСТУ EN 62586-2:2018. Вимірювання якості електроенергії в системах електроживлення. Частина 2. Функційні випробування та вимоги щодо невизначеності (EN 62586-2:2017, IDT; IEC 62586-2:2017, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=87546

24. ДСТУ EN IEC 62053-21:2023. Засоби вимірювання електричної енергії. Спеціальні вимоги. Частина 21. Лічильники активної енергії змінного струму статичні (класів точності 0,5; 1 та 2) (EN IEC 62053-21:2021; A11:2021, IDT; IEC 62053-21:2020, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=106567

25. ДСТУ EN IEC 62053-23:2023. Засоби вимірювання електричної енергії. Спеціальні вимоги. Частина 23. Лічильники реактивної енергії статичні (класів точності 2 та 3) (EN IEC 62053-23:2021, IDT; IEC 62053-23:2020, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=106570

26. ISO 50002-1:2025. Energy audits — Part 1: General requirements with guidance for use. Geneva : International Organization for Standardization, 2025. URL: <https://www.iso.org/standard/83645.html>

27. ISO 50006:2023. Energy management systems — Evaluating energy performance using energy performance indicators and energy baselines. Geneva : International Organization for Standardization, 2023. URL: <https://www.iso.org/standard/79367.html>

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

28. ISO 50015:2014. Energy management systems — Measurement and verification of energy performance of organizations — General principles and guidance. Geneva : International Organization for Standardization, 2014. URL: <https://www.iso.org/standard/60043.html>

29. ISO/IEC 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Geneva : International Organization for Standardization, 2017. URL: <https://www.iso.org/standard/66912.html>

30. JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement. Sèvres : Joint Committee for Guides in Metrology, 2008. URL: https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_100_2008_E.pdf

31. Практичний посібник з енергетичного аудиту промислових підприємств. Київ : Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України, 2021. URL: https://old.sae.gov.ua/sites/default/files/2021_04_02_Practical_Energy_Audit_Guidebook.pdf

32. Керівництво з впровадження системи енергетичного менеджменту відповідно до вимог міжнародного стандарту ISO 50001:2018 / О. Бориченко та ін. Київ : UNIDO-GEF UKR-IEE, 2021. URL: https://www.ukriee.org.ua/wp-content/uploads/2021/03/EnMS-Practical-Guide-2021_Ukraine_ukr.pdf

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

					02.02-ДП.613"С".2026.02.26.001.ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		