

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО
ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
електротехніки,
електромеханіки
та електротехнологій**

ДОЦ., К.Т.Н. /ОКУШКО О.В./
вчене звання і ступінь підпис
” ” 2026 р.
число місяць рік

Бакалаврська кваліфікаційна робота

**на тему: « Удосконалення електроспоживання навчального
корпусу №1 НУБіП України»**

Спеціальність: 141 —
«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»
(код і назва)

Гарант освітньої програми

К.Т.Н., ДОЦЕНТ Синявський О.Ю.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., ДОЦЕНТ Радько І. П.

(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Виконала

(підпис)

(ПІБ)

Келеп С.В.

КИЇВ – 2026

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
електротехніки,
електромеханіки
та електротехнологій
доцент, к.т.н. / ОКУШКО О.В.

вчене звання і ступінь

підпис

„_____” _____ 2025р.
число місяць рік

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи студенту

Келеп Софії Василівні

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність: 141 —
«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»
(код і назва)

Тема кваліфікаційної бакалаврської роботи: «Удосконалення системи
електроспоживання навчального корпусу №1 НУБіП України».

затверджена наказом ректора НУБіП України від «30» жовтня 2025 р. №
2607 „С”.

Термін подання завершеного проєкту на кафедру 2026.06.01
(рік,

місяць, число)

Вихідні дані до кваліфікаційної бакалаврської роботи:

- 1) Правила улаштування електроустановок (ПУЕ).
- 2) Правила будови електроустановок (електрообладнання спеціальних установок).
- 3) Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів.
- 4) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
- 5) Правила користування електричною енергією.
- 6) Система ПЗР і ТО електрообладнання сільськогосподарських підприємств.

Перелік питань, які потрібно розробити:

- 1) Аналіз стану, перспектив і напрямків реалізації завдань.
- 2) Технологічна частина.
- 3) Електротехнічна частина проєкту.
- 4) Спеціальне завдання: «Розробка автоматизованої системи обліку і керування».
- 5) Охорона праці.

6) Висновки. Список використаних джерел.

7) Додатки.

Перелік графічних документів (за потреби):

1) спеціалізована сервісна станція. План приміщення з нанесенням силового електрообладнання.

2) спеціалізована сервісна станція. План приміщення з нанесенням електричних освітлювальних мереж.

Дата видачі завдання 31.10.2025 р.

Керівник кваліфікаційної бакалаврської роботи

К.Т.Н., ДОЦЕНТ

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис) (ПІБ)

РАДЬКО О.В./

Виконала

(підпис)

Келеп С.В..

(ПІБ)

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ І ОБЛІКУ ЕНЕРГОНОСІЇВ	10
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	14
2.1 Розрахунок вентиляції підвалу	14
РОЗДІЛ 3 ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА	20
3.1 Розрахунок електричних навантажень навчального корпусу	20
3.2 Розрахунок і вибір головного вузла обліку електричної енергії	23
3.3 Розрахунок трансформаторів струму та вторинних вимірювальних кіл	26
3.4 Вибір локальної шафи збору даних і комутаційної апаратури	28
3.5 Розрахунок каналів інформаційного обміну та архіву даних	31
3.6 Оцінка річного електроспоживання та потенціалу енергозбереження	33
РОЗДІЛ 4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА ОБЛІКУ ЕНЕРГОНОСІЇВ	36
4.1 Визначення вартості обладнання системи	36
4.2 Розрахунок капітальних витрат	38
4.3 Розрахунок експлуатаційних витрат	39
4.4 Визначення економії від впровадження системи	40
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ І ОБЛІКУ ЕНЕРГОНОСІЇВ	44
5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів	44
5.2 Заходи електробезпеки	45
5.3 Організаційні та технічні заходи безпечного виконання робіт	46
5.4 Пожежна безпека системи	47
5.5 Безпечна експлуатація обладнання системи та робочого місця оператора	48
ВИСНОВКИ	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	52

ВСТУП

Удосконалення системи контролю і обліку енергоносіїв передбачає не лише встановлення сучасних засобів вимірювання, а й створення цілісної технічної системи, яка включає лічильники електричної та теплової енергії, контролери збору даних, канали зв'язку, програмне забезпечення, базу даних, засоби візуалізації та формування звітів. Такий підхід дозволяє перейти від простого фіксування показників до енергетичного моніторингу, аналізу динаміки споживання, виявлення нехарактерних режимів і підготовки обґрунтованих заходів з енергоефективності.

Використання автоматизованої системи обліку дає змогу забезпечити більш точний контроль електроспоживання, впровадити багатотарифний облік, підвищити прозорість розрахунків за енергоносії, зменшити вплив людського фактора під час знімання показників та створити інформаційну базу для планування енергозберігаючих заходів. Крім того, дистанційне збирання даних дозволяє оперативно контролювати стан основних вузлів обліку, фіксувати перевищення встановлених лімітів, аналізувати добові та місячні графіки споживання, а також порівнювати фактичні витрати з нормативними або плановими значеннями.

Актуальність теми бакалаврської кваліфікаційної роботи зумовлена необхідністю підвищення ефективності використання енергоносіїв у навчальному корпусі №1 НУБіП України шляхом удосконалення існуючої системи контролю, обліку та аналізу енергоспоживання. Запропоновані технічні рішення мають бути спрямовані на підвищення точності вимірювання, забезпечення дистанційного передавання даних, автоматизацію формування звітності та створення передумов для подальшого впровадження заходів з енергозбереження.

Метою кваліфікаційної роботи є удосконалення системи контролю і обліку енергоносіїв навчального корпусу №1 НУБіП України шляхом розроблення технічних рішень щодо модернізації вузлів обліку, впровадження засобів дистанційного збору даних, організації інформаційного обміну та підвищення ефективності енергетичного моніторингу будівлі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

- проаналізувати вихідні дані навчального корпусу №1 НУБіП України як об'єкта енергоспоживання;
- охарактеризувати основні споживачі електричної та теплової енергії в навчальному корпусі;
- оцінити існуючий стан системи контролю та обліку енергоносіїв;
- визначити основні недоліки традиційного способу знімання та обробки показників засобів обліку;
- проаналізувати вимоги до встановлення й експлуатації сучасних засобів комерційного та технічного обліку;
- обґрунтувати вибір цифрових багатотарифних лічильників, контролерів збору даних і каналів передавання інформації;
- розробити структурну схему удосконаленої системи контролю і обліку енергоносіїв;
- виконати розрахунки електротехнічних параметрів окремих елементів системи;
- розробити заходи щодо підвищення енергоефективності навчального корпусу на основі даних енергетичного моніторингу;
- оцінити економічну доцільність упровадження модернізованої системи контролю й обліку;
- розробити заходи з охорони праці та безпечної експлуатації обладнання системи обліку.

Об'єктом дослідження є система енергозабезпечення навчального корпусу №1 НУБіП України як комплекс інженерних мереж, споживачів електричної й теплової енергії та засобів обліку енергоносіїв.

Предметом дослідження є технічні рішення щодо удосконалення системи контролю і обліку енергоносіїв навчального корпусу, зокрема засоби цифрового вимірювання, дистанційного збору даних, передавання інформації, аналізу споживання та формування звітності.

Методи дослідження включають аналіз нормативних вимог до електроустановок і засобів обліку, розрахунок електричних навантажень, інженерний аналіз режимів енергоспоживання, порівняння технічних характеристик обладнання, методи вибору комутаційної та вимірювальної апаратури, а також оцінювання економічної ефективності запропонованих технічних рішень.

Практична значущість роботи полягає у розробленні комплексу технічних рішень для модернізації системи контролю і обліку енергоносіїв навчального корпусу №1 НУБіП України. Реалізація таких рішень дозволить підвищити точність обліку енергоресурсів, забезпечити оперативний контроль споживання, зменшити непродуктивні втрати, створити основу для впровадження енергозберігаючих заходів та підвищити ефективність експлуатації інженерних систем навчального корпусу.

РОЗДІЛ 1

ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ І ОБЛІКУ ЕНЕРГОНОСІЇВ

Об'єктом дослідження є навчальний корпус №1 Національного університету біоресурсів і природокористування України, який використовується для організації освітнього процесу, підготовки здобувачів вищої освіти, проведення наукової, адміністративної та допоміжної діяльності. Корпус розташований у місті Києві, Голосіївському районі, за адресою: вул. Генерала Родимцева, 19. Будівля належить до навчальних об'єктів з тривалим добовим режимом експлуатації, значною кількістю приміщень та розгалуженою інженерною інфраструктурою, тому потребує впорядкованої системи контролю й обліку енергоресурсів.

Навчальний корпус №1 є триповерховою будівлею, зведеною у 1927 році. У вихідних матеріалах зазначено, що корпус не належить до історичних будівель, тому виконання технічних заходів з модернізації інженерних систем може розглядатися без додаткових обмежень, пов'язаних з охороною пам'яток архітектури. Загальна площа будівлі становить 10132,2 м². На першому поверсі розміщено 57 основних та 28 допоміжних приміщень, а загальна кількість приміщень корпусу становить 171 основне та 84 допоміжні приміщення. Крім надземної частини, будівля має два рівні підвальних приміщень, у яких розміщуються частина допоміжних інженерних комунікацій та обладнання.

Режим роботи навчального корпусу приймається 308 днів на рік з 08:00 до 20:00. Найбільше функціональне навантаження на будівлю припадає на період з вересня по червень, коли відбувається основний навчальний процес. У цей період зростає споживання електричної енергії для освітлення, комп'ютерної техніки, вентиляційного обладнання, допоміжних електроприймачів, а також теплової енергії для опалення приміщень. Саме нерівномірність добового та сезонного споживання є однією з причин необхідності удосконалення системи контролю і обліку енергоносіїв.

Зовнішній вигляд навчального корпусу №1 НУБіП України наведено на рисунку 1.1. Будівля має складну планувальну структуру, значну площу огорожувальних конструкцій, велику кількість аудиторій, кабінетів, коридорів, допоміжних і підвальних приміщень. Це зумовлює наявність різних груп енергоспоживачів, які відрізняються режимом роботи, потужністю та



характером навантаження.

Рис. 1.1. Навчальний корпус №1 НУБіП України

План першого поверху навчального корпусу наведено на рисунку 1.2. З плану видно, що корпус має велику кількість приміщень різного призначення: навчальні аудиторії, службові кабінети, коридори, сходові клітки, допоміжні та технічні приміщення. Для таких будівель доцільним є не лише загальний комерційний облік енергоресурсів, а й організація технічного обліку за окремими групами споживачів або зонами будівлі.

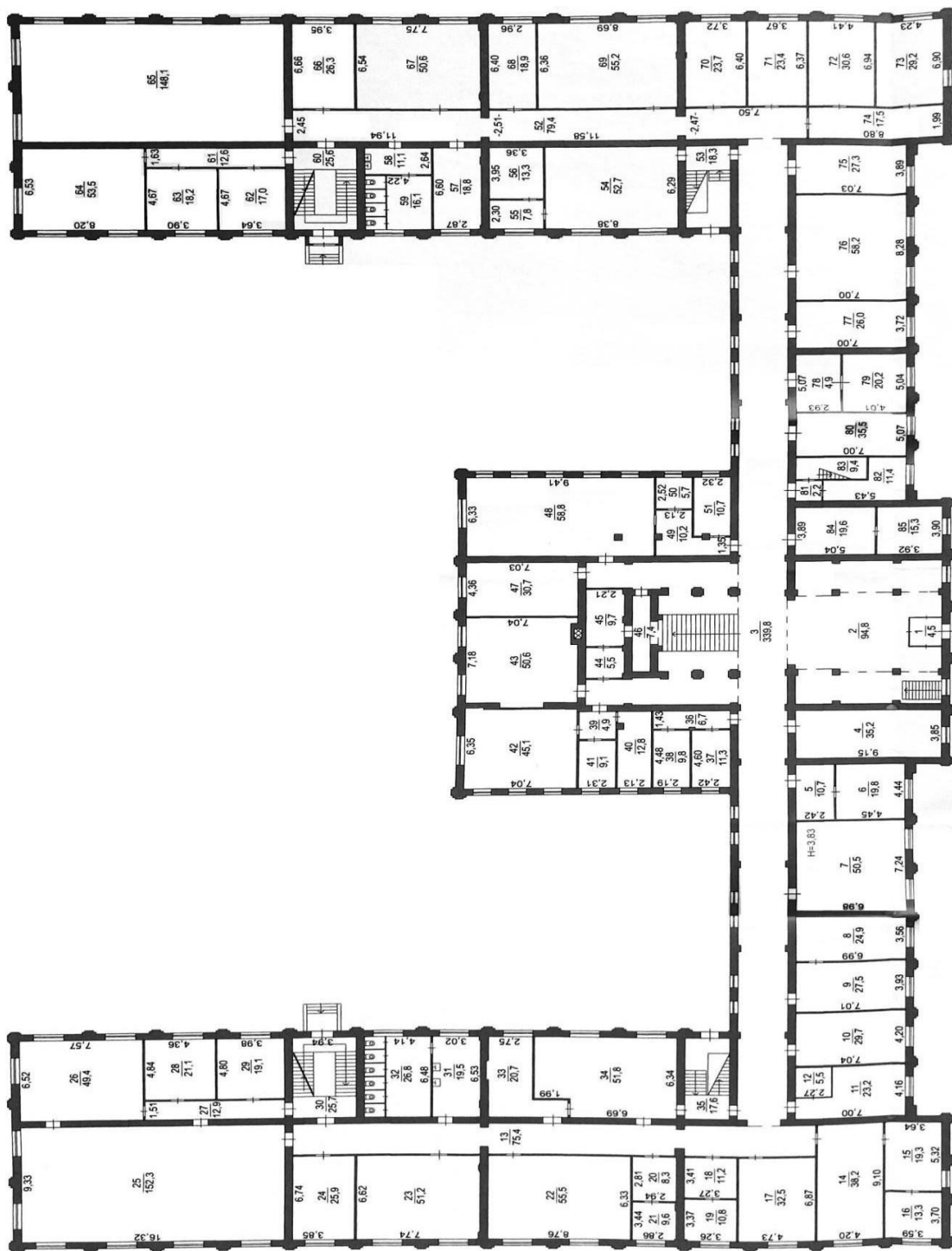


Рис.1.2. План 1 поверху навчального корпусу НУБіП України

У межах теми роботи навчальний корпус №1 розглядається не просто як будівля зі споживанням електричної енергії, а як комплексний об'єкт енергоспоживання. До основних енергоносіїв, що використовуються в будівлі, належать електрична енергія, теплова енергія для опалення, вода та інші ресурси, необхідні для забезпечення нормальних умов експлуатації

навчального корпусу. Відсутність деталізованого та оперативного контролю за їх споживанням ускладнює виявлення перевитрат, оцінювання ефективності роботи інженерних систем і планування заходів з енергозбереження.

Основними споживачами електричної енергії в навчальному корпусі є системи внутрішнього освітлення, електроприймачі навчальних аудиторій, комп'ютерна та офісна техніка, вентиляційне обладнання, електродвигуни допоміжних установок, обладнання підвальних і технічних приміщень. До споживачів теплової енергії належать системи опалення навчальних, адміністративних і допоміжних приміщень. Така структура енергоспоживання потребує впровадження системи, яка забезпечує фіксацію, накопичення, аналіз і передавання даних про споживання енергоносіїв.

Удосконалення системи контролю і обліку енергоносіїв навчального корпусу №1 передбачає модернізацію наявних вузлів обліку, застосування сучасних цифрових засобів вимірювання, організацію дистанційного збирання даних та формування інформаційної бази для аналізу споживання. Така система має забезпечувати контроль поточного стану енергоспоживання, виявлення пікових навантажень, порівняння фактичних витрат з нормативними або плановими значеннями, а також підготовку звітної інформації для енергетичної служби університету.

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок вентиляції підвалу

Технологічна частина роботи присвячена розрахунку вентиляції підвального приміщення навчального корпусу №1 НУБіП України та визначенню параметрів електропривода вентиляційної установки як одного з контрольованих споживачів у системі обліку енергоносіїв. Удосконалення системи контролю і обліку енергоносіїв передбачає не лише встановлення приладів обліку на головних вводах, а й виділення характерних груп навантаження, робота яких впливає на добове та сезонне споживання електричної енергії. До таких споживачів належать вентиляційні установки підвальних і технічних приміщень.

Підвальні приміщення корпусу використовуються для розміщення допоміжних інженерних комунікацій, технічного обладнання та приміщень обслуговування. Для підтримання санітарно-гігієнічних умов, видалення надлишкової вологи, запахів і забрудненого повітря передбачається застосування механічної витяжної вентиляції. Розрахунок виконано з урахуванням вимог ДБН В.2.5-67:2013 щодо систем вентиляції та раціонального використання енергетичних ресурсів під час експлуатації будівель.

У межах розрахунку приймається підвальне приміщення з геометричними розмірами 15×25×4 м. Об'єм приміщення визначається за формулою

$$V = a \cdot b \cdot h, \text{м}^3 \quad (2.1)$$

де V – об'єм приміщення, м^3 ; a – довжина приміщення, м; b – ширина приміщення, м; h – висота приміщення, м.

$$V = 15 \cdot 25 \cdot 4 = 1500 \text{ м}^3 \quad (2.2)$$

Необхідний повітрообмін визначається за кратністю обміну повітря. Для підвального технічного приміщення приймається чотириразовий обмін повітря

за годину, що забезпечує достатнє видалення забрудненого повітря та зниження вологості.

$$L = V \cdot k, \text{м}^3/\text{год} \quad (2.3)$$

де L_n – необхідна продуктивність вентиляції, $\text{м}^3/\text{год}$; k_n – кратність повітрообміну, $1/\text{год}$.

$$L = 1500 \cdot 4 = 6000 \text{ м}^3/\text{год} \quad (2.4)$$

Для подальших аеродинамічних розрахунків об'ємну витрату повітря переводимо у $\text{м}^3/\text{с}$:

$$L = L / 3600 = 6000 / 3600 = 1,67 \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.5)$$

Видалення повітря передбачається з верхньої зони підвального приміщення. Для зменшення швидкості руху повітря та втрат тиску приймається круглий повітропровід із оцинкованої сталі діаметром 0,56 м. Таке рішення є більш раціональним для витрати $6000 \text{ м}^3/\text{год}$, ніж використання повітропроводу малого діаметра, оскільки надмірна швидкість у каналі призводить до збільшення шуму, втрат тиску та споживання електроенергії вентилятором.

$$A = \pi \cdot d^2 / 4 \quad (2.6)$$

$$A = 3,14 \cdot 0,56^2 / 4 = 0,246 \text{ м}^2 \quad (2.7)$$

Швидкість руху повітря у повітропроводі становить

$$w = L / A = 1,67 / 0,246 = 6,79 \text{ м/с} \quad (2.8)$$

Отримана швидкість є прийнятною для витяжного повітропроводу технічного приміщення та не призводить до суттєвого зростання аеродинамічного опору. Сумарні втрати тиску на ділянці повітропроводу визначаються з урахуванням втрат на тертя та місцевих опорів:

$$\Delta p = (\lambda \cdot l / d + \Sigma \xi) \cdot \rho \cdot w^2 / 2, \text{Па} \quad (2.9)$$

де λ – коефіцієнт тертя для оцинкованого повітропроводу, $\lambda = 0,022$; l – довжина повітропроводу, $l = 10 \text{ м}$; d – діаметр повітропроводу, $d = 0,56 \text{ м}$; ρ – густина повітря за температури $18 \text{ }^\circ\text{C}$, $\rho = 1,213 \text{ кг/м}^3$; $\Sigma \xi$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів.

Сума коефіцієнтів місцевих опорів включає два бокові входи, трійник, плавний відвід і захисний ковпак на викиді повітря:

$$\Sigma \xi = 2 \cdot 0,6 + 1,0 + 0,25 + 1,3 = 3,75 \quad (2.10)$$

$$\Delta p = (0,022 \cdot 10 / 0,56 + 3,75) \cdot 1,213 \cdot 6,79^2 / 2 = 116 \text{ Па} \quad (2.11)$$

До розрахованого аеродинамічного опору додається запас на опір решіток, клапанів, поворотів, забруднення повітропроводу та можливе подальше розширення системи. Тому для вибору вентилятора приймається розрахунковий тиск

$$p = 350 \text{ Па} \quad (2.12)$$

Необхідна механічна потужність на валу вентилятора визначається за формулою

$$P = p \cdot L / (1000 \cdot \eta), \text{ кВт} \quad (2.13)$$

де P_v – потужність, необхідна для переміщення повітря, кВт; p_v – повний тиск вентилятора, Па; L – витрата повітря, м³/с; η_v – коефіцієнт корисної дії вентилятора.

$$P = 350 \cdot 1,67 / (1000 \cdot 0,75) = 0,78 \text{ кВт} \quad (2.14)$$

З урахуванням запасу за потужністю 20 % отримаємо

$$P = 1,2 \cdot P = 1,2 \cdot 0,78 = 0,94 \text{ кВт} \quad (2.15)$$

За продуктивністю $L_n = 6000 \text{ м}^3/\text{год}$, розрахунковим тиском 350 Па та необхідною потужністю 0,94 кВт приймається відцентровий вентилятор типу ВЦ14-46 з електродвигуном номінальною потужністю 1,1 кВт. Вибір двигуна з найближчої стандартної потужності забезпечує запас для пускових режимів, забруднення повітропроводів та роботи вентилятора у тривалому режимі.

Таблиця 2.1

Розрахункові параметри вентиляційної установки підвального приміщення

Показник	Позначення	Значення	Одиниця
Об'єм приміщення	V	1500	м ³

Кратність повітрообміну	k_n	4	1/год
Необхідна продуктивність	L_n	6000	м³/год
Секундна витрата повітря	L	1,67	м³/с
Діаметр повітропроводу	d	0,56	м

Продовження таблиці 2.1

Швидкість повітря	w	6,79	м/с
Розрахунковий опір ділянки	Δp	116	Па
Прийнятий тиск вентилятора	p_v	350	Па
Розрахункова потужність вентилятора	P_r	0,94	кВт
Прийнята потужність двигуна	P_n	1,1	кВт

Для включення вентиляційної установки до системи контролю енергоносіїв необхідно визначити електричні параметри електродвигуна. Розрахунковий струм трифазного електродвигуна вентилятора визначається за формулою

$$I = P \cdot 10^3 / (\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi \cdot \eta), A \quad (2.16)$$

де P_n – номінальна потужність електродвигуна, кВт; U – лінійна напруга мережі, В; $\cos\varphi$ – коефіцієнт потужності; η_n – ККД електродвигуна.

$$I = 1,1 \cdot 10^3 / (\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,81 \cdot 0,75) = 2,75 A \quad (2.17)$$

Для захисту електродвигуна доцільно прийняти автоматичний вимикач із номінальним струмом 6 А та характеристикою С, а також магнітний пускач або контактор на струм не менше 9 А. У складі удосконаленої системи контролю енергоносіїв вентилятор слід розглядати як окремий контрольований

електроприймач із фіксацією тривалості роботи, спожитої активної енергії та стану ввімкнення.

Річне споживання електричної енергії вентиляційною установкою визначається за виразом

$$W = P \cdot t_d \cdot N_d \cdot k_z, \text{кВт} \cdot \text{год/рік} \quad (2.18)$$

де t_d – тривалість роботи вентилятора протягом доби, год; N_d – кількість робочих днів на рік; k_z – коефіцієнт завантаження електродвигуна.

$$W = 1,1 \cdot 12 \cdot 308 \cdot 0,75 = 3049 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік} \quad (2.19)$$

Отримане значення показує, що навіть допоміжне вентиляційне обладнання формує помітну частку електроспоживання навчального корпусу. Тому під час удосконалення системи контролю і обліку енергоносіїв доцільно передбачити окрему групу технічного обліку для вентиляційного обладнання або, щонайменше, можливість виділення його споживання за груповим лічильником електричного щита.

Таблиця 2.2

Прийняте електрообладнання вентиляційної установки

Елемент	Прийняте рішення	Основний параметр	Призначення
Вентилятор	ВЦ14-46 або аналог	6000 м³/год; 350–400 Па	Видалення повітря з підвалу
Електродвигун	асинхронний трифазний	1,1 кВт; 380 В	Привід вентилятора
Автоматичний вимикач	3Р С6	$I_n = 6 \text{ А}$	Захист лінії живлення
Контактор	модульний або промисловий	$I_n \geq 9 \text{ А}$	Керування електродвигуном
Технічний облік	груповий лічильник або модуль вимірювання	U, I, P, W, час роботи	Контроль споживання вентиляції

Навантажувальна діаграма електродвигуна вентилятора будується для робочого дня навчального корпусу. З урахуванням прийнятого режиму роботи

08:00–20:00 вентиляційна установка працює 12 год на добу, а в неробочий час може бути вимкнена або переведена в черговий режим. Такий підхід дозволяє скоротити непродуктивне споживання електричної енергії без погіршення умов експлуатації підвальных приміщень.

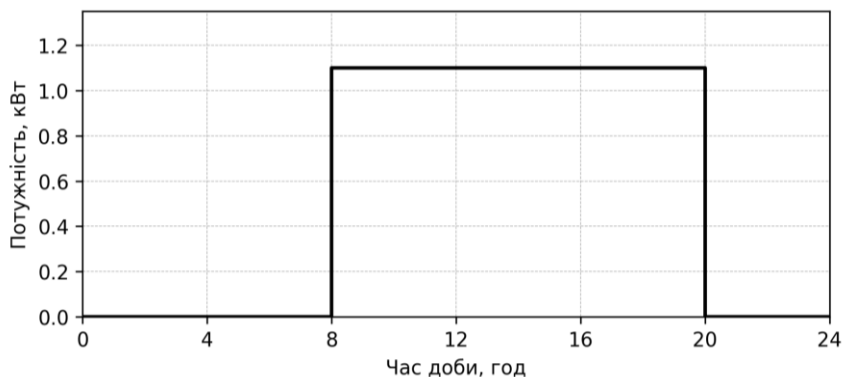


Рис.2.1. Навантажувальна діаграма електродвигуна вентилятора підвального приміщення

З рисунка 2.1 видно, що електропривод вентилятора належить до тривалих повторюваних навантажень із відносно сталою потужністю. Для системи контролю і обліку енергоносіїв це спрощує побудову енергетичного профілю: за фактичним часом роботи, активною потужністю та кількістю робочих днів можна оперативно порівнювати розрахункове і фактичне споживання. У разі перевищення фактичного споживання порівняно з розрахунковим значенням система може вказувати на забруднення повітропроводів, погіршення стану вентилятора, неправильний режим роботи або збільшення тривалості ввімкнення.

У технологічній частині визначено необхідну продуктивність вентиляції підвального приміщення 6000 м³/год, прийнято відцентровий вентилятор із електродвигуном 1,1 кВт, розраховано струм електродвигуна 2,75 А та орієнтовне річне споживання електроенергії 3049 кВт·год. Отримані параметри є вихідними для подальшого вибору силового електрообладнання, апаратів захисту, освітлювальної мережі та засобів технічного контролю споживання енергоносіїв у навчальному корпусі №1 НУБіП України.

Нормативною основою виконаного розрахунку є вимоги ДБН В.2.5-67:2013 щодо систем опалення, вентиляції та кондиціонування, ПУЕ щодо вибору електрообладнання та Кодексу комерційного обліку електричної енергії щодо організації обліку електроспоживання.

РОЗДІЛ 3 ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок електричних навантажень навчального корпусу

Електротехнічна частина роботи спрямована на обґрунтування параметрів модернізованої системи контролю і обліку енергоносіїв навчального корпусу №1 НУБіП України. На відміну від простого встановлення одного загального лічильника, запропоноване рішення передбачає виділення основних груп електроспоживачів, вибір вузлів обліку для головного вводу та окремих технічних навантажень, організацію дистанційного зчитування показників і формування бази даних для енергетичного моніторингу.

Вихідними даними приймаються: загальна площа будівлі $F = 10132,2 \text{ м}^2$, режим роботи 308 днів на рік по 12 годин на добу, наявність освітлювальних, вентиляційних, комп'ютерних, допоміжних силових і слаботочних навантажень. Ці дані узгоджуються з вихідними матеріалами до роботи, у яких навчальний корпус №1 розглянуто як комплексний об'єкт енергоспоживання з великою кількістю навчальних, адміністративних і технічних приміщень.

Планувальна структура корпусу, наведена в попередніх розділах, підтверджує доцільність поетапного переходу від загального обліку до технічного зонального контролю. Для пояснення місць можливого розміщення вузлів технічного обліку в розділі використано план першого поверху з прикладу оформлення бакалаврської роботи, адаптований для нашої теми.

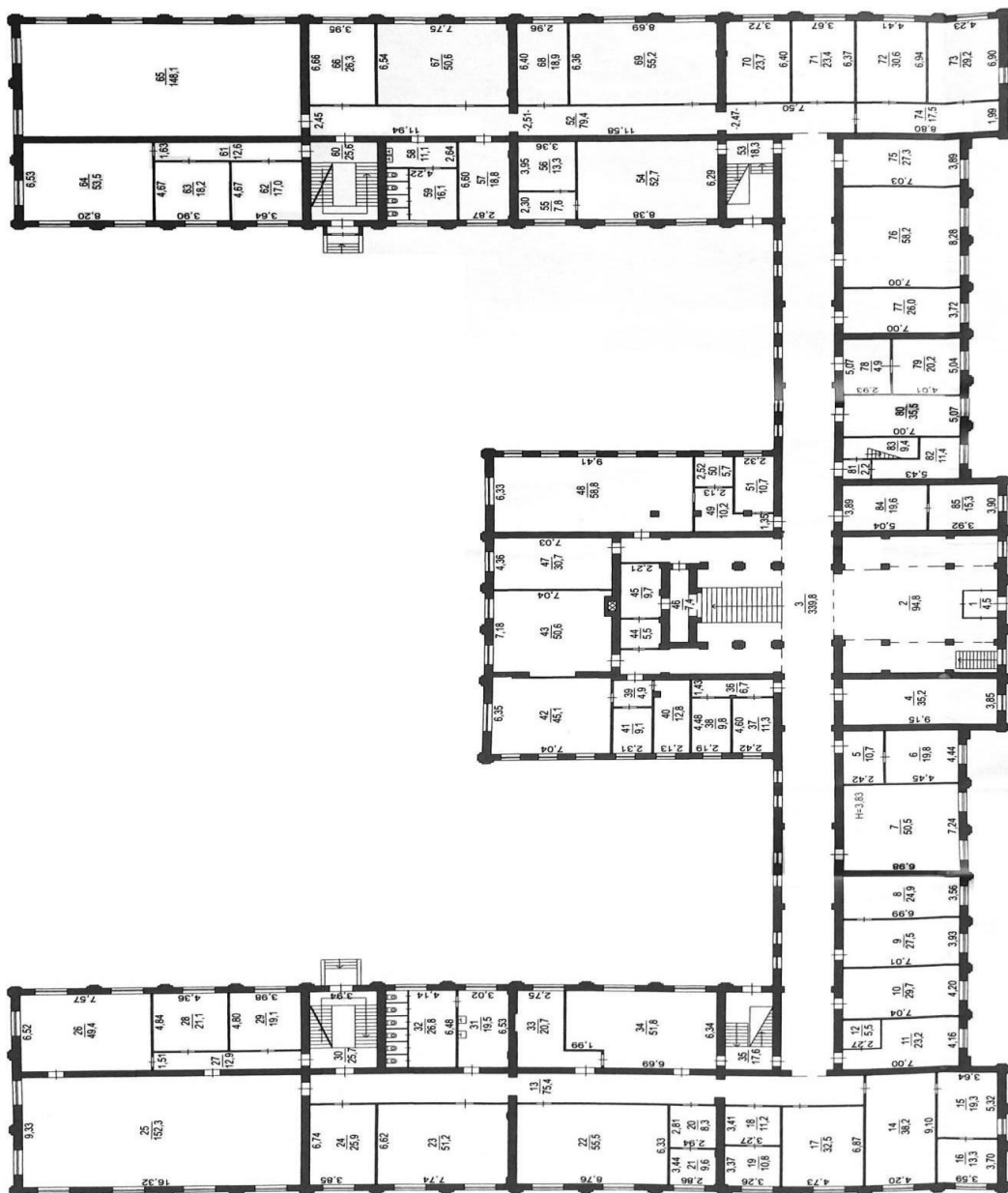


Рис. 3.1 – План першого поверху навчального корпусу як основа для
зонування технічного обліку

Встановлена потужність освітлювальної мережі визначається за питомою потужністю освітлення. Для навчальних корпусів із переважним використанням світлодіодних світильників приймається $q_{\text{осв}} = 8 \text{ Вт/м}^2$. Розрахунок виконується за залежністю

$$P_{\text{осв}} = F \cdot q_{\text{осв}} / 1000 \quad (3.1)$$

де $P_{\text{осв}}$ – встановлена потужність освітлювальної мережі, кВт; F – площа будівлі, м²; $q_{\text{осв}}$ – питома потужність освітлення, Вт/м².

$$P_{\text{осв}} = 10132,2 \cdot 8 / 1000 = 81,06 \text{ кВт} \quad (3.2)$$

Розрахункова активна потужність окремої групи електроприймачів визначається з урахуванням коефіцієнта попиту, який враховує неодночасність роботи обладнання:

$$P_p = P_{\text{вст}} \cdot k_p \quad (3.3)$$

де P_p – розрахункова активна потужність групи, кВт; $P_{\text{вст}}$ – встановлена потужність групи, кВт; k_p – коефіцієнт попиту.

Таблиця 3.1

Розрахунок електричних навантажень навчального корпусу №1

Група електроприймачів	$P_{\text{вст}}$, кВт	k_p	P_p , кВт	Призначення контролю
Внутрішнє освітлення	81,06	0,70	56,74	контроль добового та сезонного профілю
Комп'ютерна та офісна техніка	24,00	0,60	14,40	контроль навчальних аудиторій і кабінетів
Вентиляційне обладнання	8,50	0,75	6,38	виділення технічних споживачів
Допоміжні силові споживачі	9,50	0,70	6,65	контроль підвальних і технічних приміщень
Засоби обліку та зв'язку	3,94	0,78	3,07	живлення системи моніторингу
Разом	127,00	—	87,24	головний вузол обліку

За результатами розрахунку сумарна встановлена потужність основних електроприймачів становить 127,0 кВт, а розрахункова активна потужність – 87,24 кВт. Основну частку навантаження формує внутрішнє освітлення, тому після впровадження системи обліку доцільно окремо контролювати графіки освітлювального навантаження, вентиляції та допоміжних технічних споживачів.

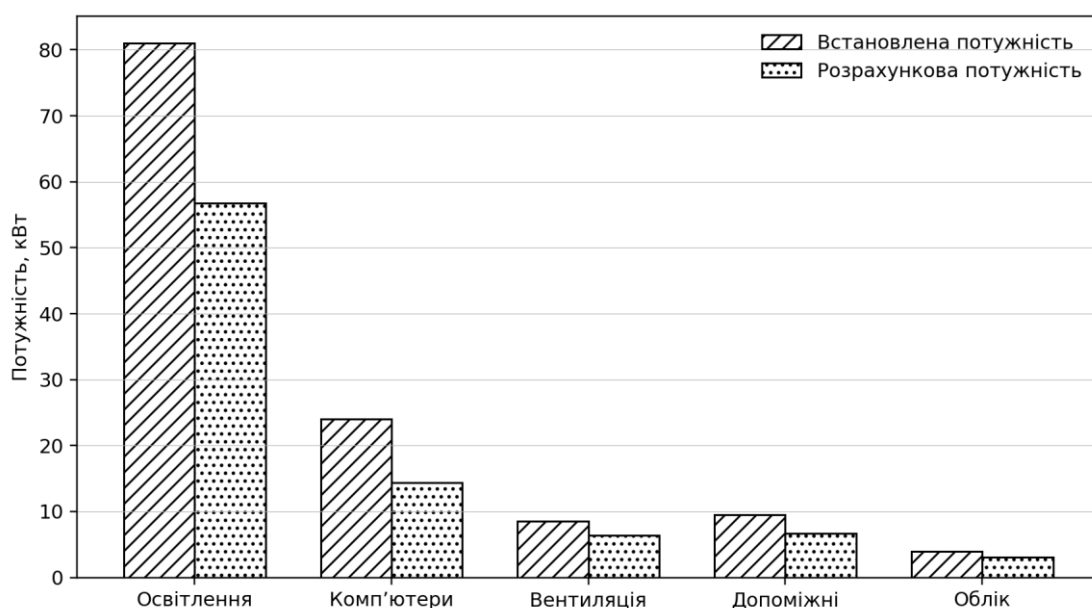


Рис. 3.2 – Структура встановленої та розрахункової потужності електроприймачів навчального корпусу

Повна розрахункова потужність визначається за прийнятим коефіцієнтом потужності $\cos\varphi = 0,90$:

$$S_p = P_p / \cos\varphi = 87,24 / 0,90 = 96,93 \text{ кВА} \quad (3.4)$$

Розрахунковий струм трифазного вводу визначається за формулою

$$I_p = S_p \cdot 10^3 / (\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}}) \quad (3.5)$$

$$I_p = 96,93 \cdot 10^3 / (1,732 \cdot 380) = 147,3 \text{ А} \quad (3.6)$$

Отримане значення показує, що головний вузол обліку доцільно виконувати за трансформаторною схемою включення з вимірювальними трансформаторами струму, а технічні лічильники окремих груп навантаження можна приймати прямого або трансформаторного включення залежно від струму відповідної лінії.

3.2 Розрахунок і вибір головного вузла обліку електричної енергії

Головний вузол обліку повинен забезпечувати вимірювання активної та реактивної електричної енергії, фіксацію навантаження за тарифними зонами,

передавання даних до контролера збору інформації та можливість подальшого підключення системи енергетичного моніторингу. Для навчального корпусу приймається трифазний багатотарифний електронний лічильник трансформаторного включення з цифровим інтерфейсом RS-485.

Фрагмент схеми підключення навчального корпусу до електричної мережі, використаний з прикладу, показує наявність головної точки приєднання, вузлів обліку та відгалужень до окремих корпусів і споживачів. У нашій роботі ця схема використовується як графічна основа для пояснення місця встановлення головного вузла обліку та можливих точок технічного контролю.

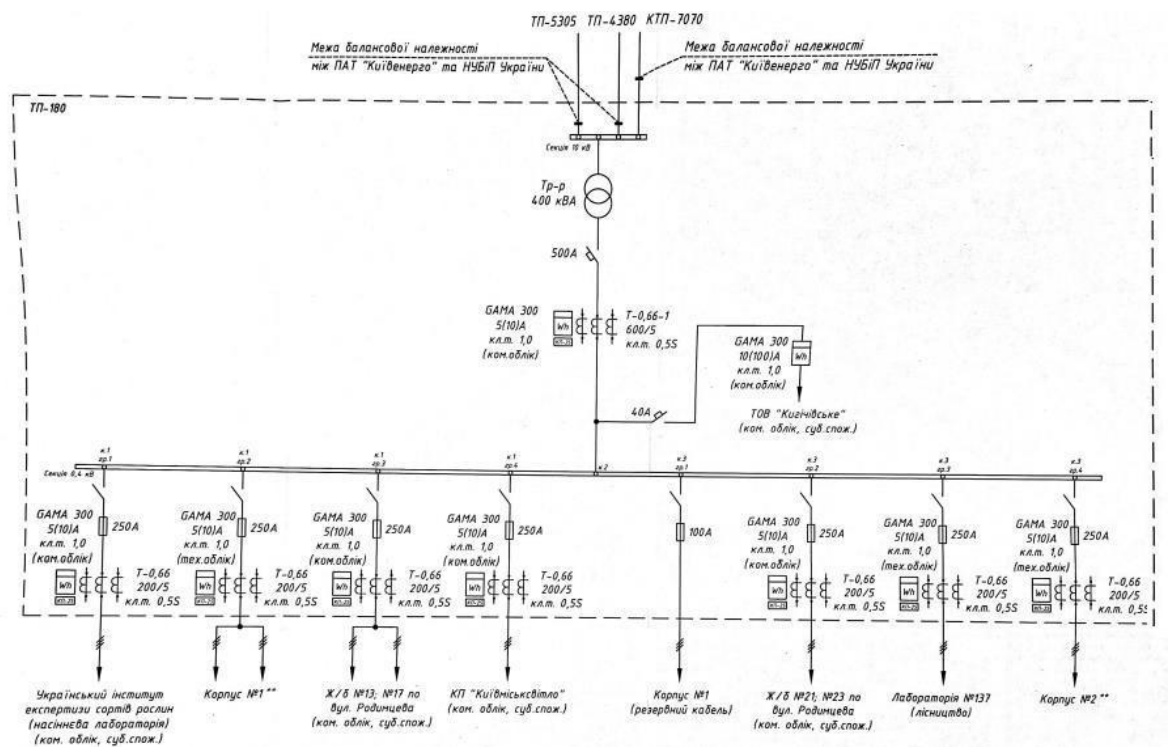


Рис. 3.3 – Фрагмент схеми електропостачання корпусів із вузлами обліку, адаптований для системи контролю енергоносіїв

Номінальний первинний струм трансформаторів струму вибирається за умовою

$$I_{1\text{ном}} \geq I_p \quad (3.7)$$

З урахуванням розрахункового струму $I_p = 147,3 \text{ А}$ та необхідності резерву для можливого збільшення навантаження приймаються

трансформатори струму 200/5 А класу точності 0,5S. Коефіцієнт трансформації становить

$$K_{тс} = I_{1ном} / I_{2ном} = 200 / 5 = 40 \quad (3.8)$$

При фактичному розрахунковому струмі первинного кола вторинний струм трансформатора становитиме

$$I_2 = I_p / K_{тс} = 147,3 / 40 = 3,68 \text{ А} \quad (3.9)$$

Таке значення є допустимим для лічильника з номінальним струмом 5 А і забезпечує роботу вузла обліку без перевантаження вторинних кіл. Клас точності 0,5S приймається через те, що навчальний корпус має змінний добовий графік навантаження: у періоди мінімального споживання точність вимірювання також повинна залишатися достатньою.

Таблиця 3.2

Прийняті параметри головного вузла обліку

Елемент вузла	Прийняте рішення	Основний параметр	Обґрунтування
Електронний лічильник	трифазний багатотарифний	3×220/380 В, 5 А	облік активної та реактивної енергії
Трансформатори струму	комплект 3 шт.	200/5 А, клас 0,5S	резерв за струмом і точність при малих навантаженнях
Інтерфейс зв'язку	RS-485 / Modbus	екранована вита пара	підключення до контролера збору даних
Місце встановлення	головний розподільний щит	ввід корпусу	контроль сумарного споживання будівлі

Для пояснення будови сучасного електронного лічильника використано структурну схему з прикладу роботи. У ній показано, що вимірювальні сигнали напруги та струму проходять через датчики, пристрої перетворення сигналів, аналого-цифрове перетворення та мікроконтролер, після чого дані можуть виводитися на дисплей, зберігатися у пам'яті та передаватися до зовнішньої системи.

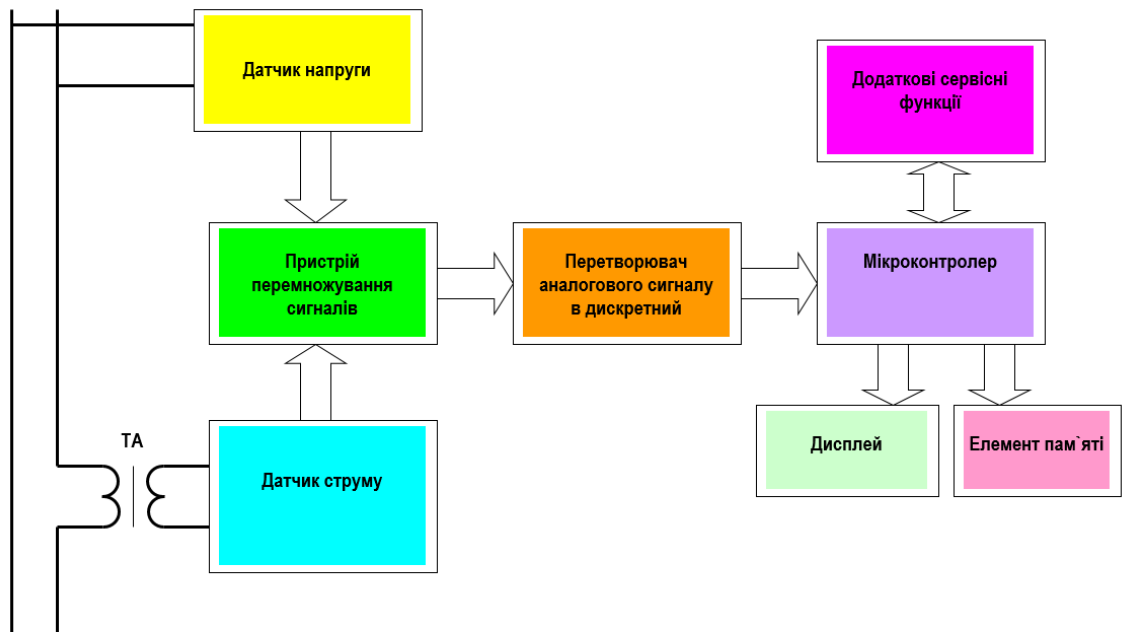


Рис. 3.4 – Структурна схема електронного лічильника електричної енергії

3.3 Розрахунок трансформаторів струму та вторинних вимірювальних кіл

Надійність і точність обліку значною мірою залежать від правильного вибору вторинних вимірювальних кіл трансформаторів струму. Вторинні кола повинні мати достатній переріз провідників, мінімальні втрати, надійні контактні з'єднання та захист від випадкового розмикання під навантаженням.

Опір вторинного кола трансформатора струму з урахуванням двопровідної лінії визначається за формулою

$$R_{\text{л}} = 2 \cdot \rho \cdot l / S \quad (3.10)$$

де $\rho = 0,018 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ – питомий опір міді; l – довжина траси від трансформаторів струму до лічильника, м; S – переріз провідника, мм^2 . Для $l = 12 \text{ м}$ та $S = 2,5 \text{ мм}^2$ маємо

$$R_{\text{л}} = 2 \cdot 0,018 \cdot 12 / 2,5 = 0,173 \text{ Ом} \quad (3.11)$$

Потужність, що споживається лінією вторинного кола при струмі 5 А , становить

$$S_{\text{л}} = I_{2\text{ном}}^2 \cdot R_{\text{л}} = 5^2 \cdot 0,173 = 4,33 \text{ ВА} \quad (3.12)$$

З урахуванням потужності лічильника $S_{\text{пр}} = 1,0 \text{ ВА}$ сумарне навантаження трансформатора струму дорівнює

$$S_{\Sigma} = S_{\text{л}} + S_{\text{пр}} = 4,33 + 1,0 = 5,33 \text{ ВА} \quad (3.13)$$

Оскільки прийняті трансформатори струму мають номінальне навантаження 10 ВА, умова $S_{\Sigma} \leq S_{\text{ном}}$ виконується. Отже, переріз мідних провідників 2,5 мм² для вторинних кіл є достатнім. Для підвищення експлуатаційної надійності вторинні кола необхідно виконувати окремими маркованими проводами з можливістю перевірки кожної фази.

Таблиця 3.3

Перевірка вторинних кіл трансформаторів струму

Показник	Позначення	Значення	Висновок
Довжина вторинного кола	l	12 м	прийнято за розміщенням у щитовій
Переріз провідника	S	2,5 мм ²	достатній для вимірювального кола
Опір лінії	R _л	0,173 Ом	враховано двопровідну схему
Потужність навантаження	S _Σ	5,33 ВА	менше 10 ВА
Клас точності ТС	—	0,5S	придатний для змінних режимів

Функціональна схема цифрового лічильника, наведена на рисунку 3.5, використовується для уточнення складу інформаційних і вимірювальних кіл. Вона показує зв'язок датчиків напруги та струму, мікроконтролера, енергонезалежної пам'яті, індикатора та інтерфейсу RS-485.

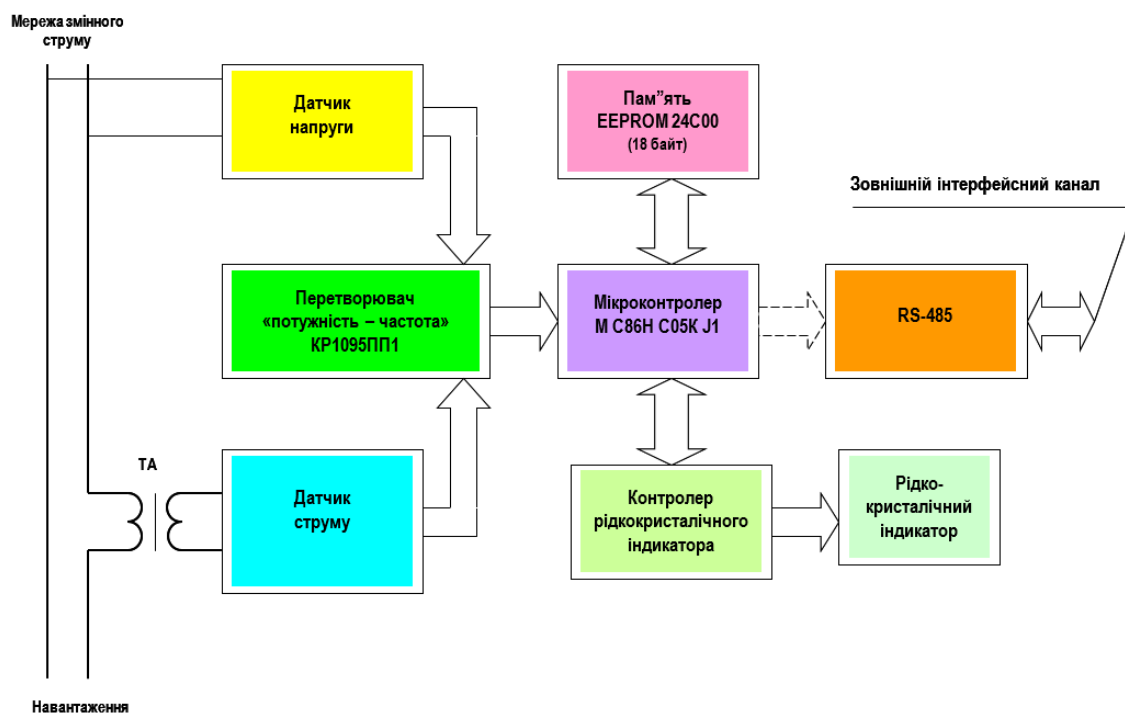


Рис. 3.5 – Функціональна схема цифрового лічильника з інтерфейсом RS-485

3.4 Вибір локальної шафи збору даних і комутаційної апаратури

Локальна шафа збору даних призначена для розміщення контролера, блока живлення, автоматичних вимикачів допоміжних кіл, клемних затискачів, пристроїв захисту інтерфейсних ліній та комунікаційного обладнання. У межах роботи приймається, що шафа встановлюється в технічному приміщенні поблизу головного вузла обліку, що зменшує довжину вимірювальних кіл та полегшує обслуговування.

Як приклад апаратної реалізації використано контролер збору даних із вбудованим модемом, наведений у прикладі бакалаврської роботи. У нашому проєкті такий пристрій розглядається як центральний вузол збору показників лічильників електричної енергії, тепла та води.



Рис. 3.6 – Контролер збору даних з комунікаційним модемом

Власне споживання шафи збору даних приймається $P_{\text{ш}} = 0,5$ кВт. Робочий струм однофазної лінії живлення визначається за формулою

$$I_{\text{ш}} = P_{\text{ш}} \cdot 10^3 / (U \cdot \cos\varphi) \quad (3.14)$$

$$I_{\text{ш}} = 0,5 \cdot 10^3 / (220 \cdot 0,8) = 2,84 \text{ А} \quad (3.15)$$

З урахуванням резерву приймається автоматичний вимикач номінальним струмом 6 А, а живлення шафи виконується кабелем ВВГнг-LS 3×1,5 мм². Втрата напруги в лінії довжиною 35 м перевіряється за залежністю

$$\Delta U = 2 \cdot I_{\text{ш}} \cdot \rho \cdot l / S \quad (3.16)$$

$$\Delta U = 2 \cdot 2,84 \cdot 0,018 \cdot 35 / 1,5 = 2,39 \text{ В} \quad (3.17)$$

$$\Delta U_{\%} = 2,39 / 220 \cdot 100 = 1,09 \% \quad (3.18)$$

Отримане значення втрати напруги не перевищує допустимого рівня для допоміжних кіл. Тому вибраний кабель забезпечує надійне живлення контролера, блока живлення та комунікаційного обладнання. Для внутрішнього

монтажу шафи приймається розділення силових, вимірювальних та інформаційних кіл, а лінії RS-485 прокладаються екранованою витю парою.

Таблиця 3.4

Склад локальної шафи збору даних

Елемент	Кількість	Основна функція	Прийнята вимога
Контролер збору даних	1	опитування лічильників і передавання даних	RS-485, Ethernet/GSM
Блок живлення	1	живлення контролера та інтерфейсів	резерв за потужністю 20–30 %
Автоматичний вимикач	1	захист допоміжної лінії	номінал 6 А
Клемні затискачі	комплект	підключення вимірювальних і сигнальних кіл	маркування фаз і каналів
Пристрій захисту інтерфейсу	1	захист RS-485 від перенапруг	встановлення на вході шини
Корпус шафи	1	механічний захист апаратури	ступінь захисту не нижче IP31

У складі системи також передбачається використання електронного лічильника, приклад зовнішнього вигляду якого наведено на рисунку 3.7. Наявність дисплея, енергонезалежної пам'яті та цифрового інтерфейсу дає змогу використовувати його одночасно для локального контролю і дистанційного зчитування.



Рис. 3.7 – Приклад електронного багатофункціонального лічильника електричної енергії

3.5 Розрахунок каналів інформаційного обміну та архіву даних

Для забезпечення енергетичного моніторингу система повинна не лише вимірювати енергію, а й накопичувати архів даних за короткими інтервалами часу. На першому етапі модернізації приймається підключення десяти приладів обліку: головний лічильник електричної енергії, технічні лічильники основних груп навантаження, вузли обліку тепла та води.

Добова кількість записів для одного приладу за інтервалу опитування 15 хв становить

$$n_{\text{д}} = 24 \cdot 60 / 15 = 96 \text{ записів/добу} \quad (3.19)$$

За кількості приладів $N = 10$ і середнього обсягу одного запису $b = 64$ байти добовий обсяг даних визначається як

$$V_{\text{д}} = N \cdot n_{\text{д}} \cdot b \quad (3.20)$$

$$V_{\text{д}} = 10 \cdot 96 \cdot 64 = 61440 \text{ байт} \approx 60 \text{ кбайт} \quad (3.21)$$

Річний обсяг архіву для основних параметрів становить

$$V_{\text{р}} = V_{\text{д}} \cdot 365 = 61440 \cdot 365 = 22425600 \text{ байт} \approx 21,4 \text{ Мбайт} \quad (3.22)$$

Навіть з урахуванням службових повідомлень, журналу подій, архівів аварій і дублювання даних загальний обсяг інформації не перевищує можливостей сучасного контролера або локального серверного вузла. Це дозволяє зберігати не тільки інтегральні показники електроенергії, а й фазні струми, напругу, коефіцієнт потужності, частоту, наявність аварійних подій та дані про якість електропостачання.

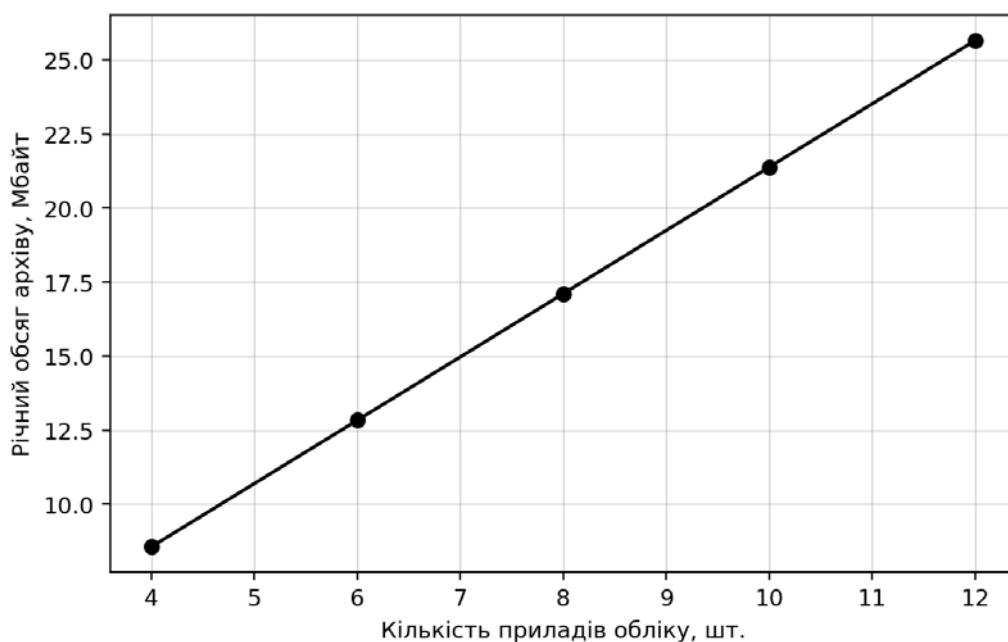


Рис. 3.8 – Залежність річного обсягу архіву від кількості підключених приладів обліку

Алгоритм роботи вузла обліку, використаний з прикладу і адаптований до нашої теми, наведено на рисунку 3.9. Він передбачає послідовне зчитування

імпульсів або цифрових кадрів даних, перевірку коректності, запис показників у пам'ять та передавання інформації через інтерфейсний канал.



Рис. 3.9 – Алгоритм роботи вузла цифрового обліку енергоносіїв

3.6 Оцінка річного електроспоживання та потенціалу енергозбереження

Оцінка річного електроспоживання потрібна для обґрунтування доцільності впровадження системи автоматизованого контролю. Річний фонд роботи навчального корпусу за прийнятим режимом експлуатації становить

$$T_p = D \cdot t_d = 308 \cdot 12 = 3696 \text{ год/рік} \quad (3.23)$$

Орієнтовне річне електроспоживання визначається за розрахунковою активною потужністю

$$W_p = P_p \cdot T_p \quad (3.24)$$

$$W_p = 87.24 \cdot 3696 = 322439 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (3.25)$$

Після впровадження автоматизованого контролю очікуване скорочення непродуктивних витрат електричної енергії приймається на рівні 5 %. Такий ефект досягається за рахунок виявлення пікових навантажень, контролю роботи вентиляційного обладнання, своєчасного вимкнення непотрібних споживачів і підготовки обґрунтованих заходів енергозбереження.

$$\Delta W = W_p \cdot 0,05 \quad (3.26)$$

$$\Delta W = 322439 \cdot 0,05 = 16122 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік} \quad (3.27)$$

За орієнтовною вартістю електричної енергії 6,0 грн/(кВт·год) річна економія коштів становить

$$E_{\text{грн}} = 16122 \cdot 6,0 = 96732 \text{ грн/рік} \quad (3.28)$$

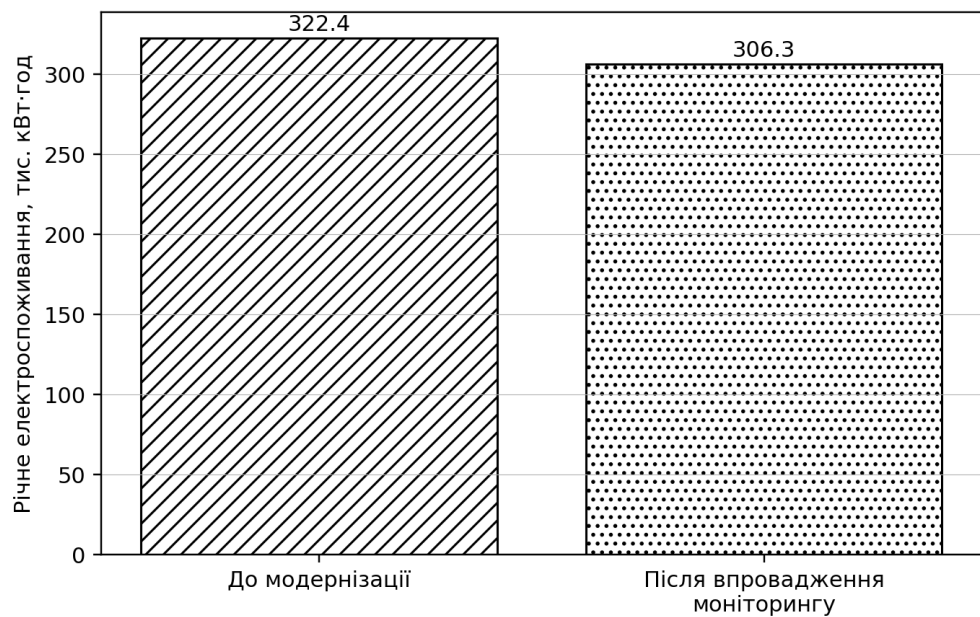


Рис. 3.10 – Порівняння річного електроспоживання до та після впровадження системи моніторингу

Підсумкові електротехнічні параметри системи контролю і обліку

Показник	Розрахункове значення	Прийняте технічне рішення
Розрахункова активна потужність корпусу	87,24 кВт	головний вузол обліку на вводі
Повна потужність	96,93 кВА	облік активної та реактивної енергії
Розрахунковий струм вводу	147,3 А	трансформатори струму 200/5 А
Живлення шафи збору даних	2,84 А	автомат 6 А, кабель 3×1,5 мм ²
Річний архів даних	≈ 21,4 Мбайт	збереження в контролері або локальний БД
Потенційна економія електроенергії	≈ 16,1 тис. кВт·год/рік	оперативний моніторинг і аналіз споживання

РОЗДІЛ 4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА ОБЛІКУ ЕНЕРГОНОСІЇВ

4.1 Визначення вартості обладнання системи

Техніко-економічне обґрунтування виконується для запропонованої системи контролю і обліку енергоносіїв навчального корпусу №1 НУБіП України. У попередньому розділі визначено, що розрахункова активна потужність корпусу становить 87,24 кВт, повна потужність - 96,93 кВА, розрахунковий струм головного вводу - 147,3 А, а для головного вузла обліку доцільно застосовувати трансформатори струму 200/5 А класу точності 0,5S. Також передбачено використання локальної шафи збору даних, цифрового інтерфейсу RS-485/Modbus і архівування показників з інтервалом 15 хв.

Економічна частина базується на поетапному впровадженні системи. На першому етапі передбачається модернізація головного вузла електрообліку, встановлення технічних лічильників на основних групах навантаження, підключення вузлів обліку теплової енергії та води до контролера збору даних, а також створення локального архіву показників. Такий підхід не потребує повної реконструкції електричних мереж корпусу, але забезпечує отримання достатнього обсягу інформації для енергетичного аналізу.

Таблиця 4.1

Орієнтовна вартість обладнання системи контролю і обліку енергоносіїв

Найменування обладнання або робіт	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Трифазний багатотарифний лічильник трансформаторного включення	1	12000	12000
Технічні трифазні лічильники для груп навантаження	5	7500	37500
Модулі імпульсного/цифрового зчитування тепла і води	4	2800	11200
Трансформатори струму	3	1300	3900

200/5 А, клас 0,5S			
Контролер збору даних з підтримкою RS-485/Ethernet/GSM	1	22000	22000
Комунікаційний маршрутизатор або промисловий модем	1	6500	6500
Блок живлення 24 В і допоміжна апаратура DIN	1 комплект	2500	2500
Джерело безперебійного живлення для шафи збору даних	1	12000	12000
Металева шафа збору даних з клемниками та маркуванням	1	9500	9500
Автоматичні вимикачі, ПЗП, клеми, запобіжники, маркування	1 комплект	8600	8600
Кабель RS-485/FTP, силовий кабель, лотки та монтажні матеріали	1 комплект	18520	18520
Програмне забезпечення для локального архіву та звітності	1 комплект	18000	18000
Разом вартість обладнання	-	-	152220

Орієнтовна вартість обладнання становить 152220 грн. До цієї суми входять основні засоби вимірювання, зв'язку, живлення та захисту. У вартості не враховано можливу заміну існуючих електричних щитів, оскільки за умовами роботи передбачається модернізація вузлів обліку та встановлення локальної шафи збору даних без повної реконструкції розподільчої мережі корпусу.

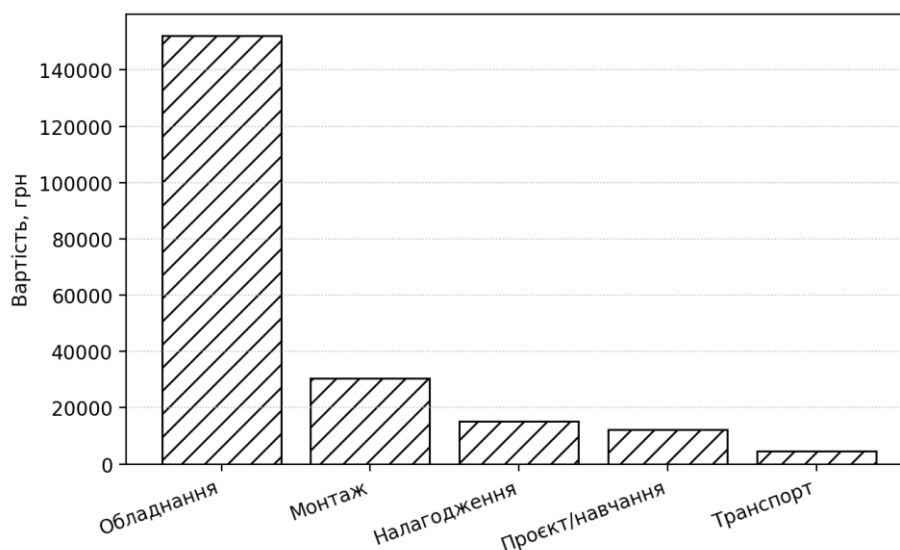


Рис. 4.1 - Структура капітальних витрат на впровадження системи контролю та обліку енергоносіїв

4.2 Розрахунок капітальних витрат

Капітальні витрати на впровадження системи включають вартість обладнання, транспортно-заготівельні витрати, монтажні роботи, налагодження, перевірку зв'язку з приладами обліку, створення архіву даних і навчання персоналу. Загальні капітальні витрати визначаються за формулою

$$K_{\text{заг}} = K_{\text{об}} + K_{\text{тр}} + K_{\text{м}} + K_{\text{нал}} + K_{\text{пр}}, \quad (4.1)$$

де $K_{\text{заг}}$ - загальні капітальні витрати, грн; $K_{\text{об}}$ - вартість обладнання, грн; $K_{\text{тр}}$ - транспортно-заготівельні витрати, грн; $K_{\text{м}}$ - витрати на монтаж, грн; $K_{\text{нал}}$ - витрати на налагодження, грн; $K_{\text{пр}}$ - витрати на проєктне уточнення, маркування і навчання персоналу, грн.

Транспортно-заготівельні витрати приймаються на рівні 3 % від вартості обладнання:

$$K_{\text{тр}} = 0,03 \cdot K_{\text{об}} = 0,03 \cdot 152220 = 4567 \text{ грн.} \quad (4.2)$$

Витрати на монтаж обладнання, прокладання кабельних та інтерфейсних ліній, установлення шафи збору даних і підключення лічильників приймаються на рівні 20 % від вартості обладнання:

$$K_{\text{м}} = 0,20 \cdot K_{\text{об}} = 0,20 \cdot 152220 = 30444 \text{ грн.} \quad (4.3)$$

Витрати на налагодження, перевірку обміну даними, налаштування контролера, перевірку архіву та форм звітності приймаються на рівні 10 % від вартості обладнання:

$$K_{\text{нал}} = 0,10 \cdot K_{\text{об}} = 0,10 \cdot 152220 = 15222 \text{ грн.} \quad (4.4)$$

Витрати на уточнення технічної документації, маркування вимірювальних кіл, підготовку інструкції та навчання відповідального персоналу приймаються на рівні 8 % від вартості обладнання:

$$K_{\text{пр}} = 0,08 \cdot K_{\text{об}} = 0,08 \cdot 152220 = 12178 \text{ грн.} \quad (4.5)$$

Загальні капітальні витрати становлять

$$K_{\text{заг}} = 152220 + 4567 + 30444 + 15222 + 12178 = 214631 \text{ грн.} \quad (4.6)$$

Таблиця 4.2

Підсумок розрахунку капітальних витрат

Стаття витрат	Позначення	Вартість, грн	Частка, %
Обладнання системи	K_об	152220	70,9
Транспортно-заготівельні витрати	K_тр	4567	2,1
Монтажні роботи	K_м	30444	14,2
Налагодження та перевірка роботи системи	K_нал	15222	7,1
Проектне уточнення, маркування, навчання	K_пр	12178	5,7
Разом	K_заг	214631	100

Найбільшу частку капітальних витрат становить обладнання системи. Це пояснюється необхідністю використання багатофункціональних лічильників, трансформаторів струму, контролера збору даних, джерела резервного живлення та комунікаційного обладнання. Монтажна частина є меншою, оскільки проєкт передбачає встановлення системи в існуючій електротехнічній інфраструктурі корпусу.

4.3 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати системи контролю і обліку енергоносіїв складаються з витрат на власне електроспоживання обладнання, періодичне технічне обслуговування, підтримку каналу зв'язку та програмного архіву. У розділі 3 для вибору кабельної лінії шафи збору даних прийнято встановлену потужність 0,5 кВт. Це значення враховує резерв. Фактичне середнє споживання контролера, маршрутизатора, блока живлення та допоміжних пристроїв приймається на рівні 0,08 кВт.

$$W_{\text{вл}} = P_{\text{ср}} \cdot T_{\text{р}} = 0,08 \cdot 8760 = 700,8 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік.} \quad (4.7)$$

За тарифу $C_e = 6,0$ грн/(кВт·год) вартість власного електроспоживання системи становить

$$C_{\text{вл}} = W_{\text{вл}} \cdot C_e = 700,8 \cdot 6,0 = 4205 \text{ грн/рік.} \quad (4.8)$$

Таблиця 4.3

Річні експлуатаційні витрати системи

Стаття витрат	Розрахунок або прийняте значення	Вартість, грн/рік
Власне електроспоживання обладнання	$700,8 \text{ кВт} \cdot \text{год} \cdot 6,0 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год}$	4205
Технічне обслуговування лічильників і шафи збору даних	періодична перевірка, очищення, огляд	7500
Підтримка каналу зв'язку та передавання даних	GSM/Ethernet, резервний канал	3600
Адміністрування архіву, резервне копіювання, оновлення звітів	локальний архів і звітність	4000
Разом експлуатаційні витрати	-	19305

Отримані експлуатаційні витрати є помірними порівняно з очікуваною економією. Основна частина витрат пов'язана не з електроспоживанням обладнання, а з необхідністю підтримання працездатності системи, перевірки каналів зв'язку, резервного копіювання архіву та періодичного контролю вузлів обліку.

4.4 Визначення економії від впровадження системи

Економічний ефект від впровадження системи контролю і обліку енергоносіїв формується за рахунок зменшення непродуктивного електроспоживання, виявлення пікових навантажень, контролю роботи вентиляційного обладнання, своєчасного вимкнення непотрібних споживачів і переходу від ручного знімання показників до автоматизованого аналізу. У розділі 3 визначено, що розрахункова активна потужність навчального корпусу становить 87,24 кВт, а річний фонд роботи - 3696 год/рік.

$$T_p = 308 \cdot 12 = 3696 \text{ год/рік.} \quad (4.9)$$

$$W_{\text{баз}} = P_p \cdot T_p = 87,24 \cdot 3696 = 322439 \text{ кВт·год/рік.} \quad (4.10)$$

)

Очікуване скорочення непродуктивних витрат електричної енергії приймається на рівні 5 %. Такий рівень є реалістичним для навчальної будівлі, де значна частина споживання пов'язана з освітленням, вентиляцією, комп'ютерною технікою та допоміжними електроприймачами, режим роботи яких можна контролювати за архівом показників.

$$\Delta W = 0,05 \cdot W_{\text{баз}} = 0,05 \cdot 322439 = 16122 \text{ кВт·год/рік.} \quad (4.11)$$

)

$$E_{\text{ел}} = \Delta W \cdot C_e = 16122 \cdot 6,0 = 96732 \text{ грн/рік.} \quad (4.12)$$

)

Чистий річний економічний ефект визначається як різниця між вартістю зекономленої електроенергії та експлуатаційними витратами на підтримання роботи системи:

$$E_{\text{ч}} = E_{\text{ел}} - C_{\text{екс}} = 96732 - 19305 = 77427 \text{ грн/рік.} \quad (4.13)$$

)

Крім прямої економії електричної енергії, система створює організаційний ефект: зменшується тривалість знімання показників, підвищується достовірність звітності, з'являється можливість порівнювати споживання за днями, тижнями й місяцями, а також швидше виявляти перевитрати. Такий ефект важко повністю перевести у грошовий вираз, тому в розрахунку окупності враховано лише прямий вимірюваний економічний результат.

4.5 Розрахунок строку окупності та економічної ефективності

Строк окупності системи визначається як відношення загальних капітальних витрат до чистого річного економічного ефекту:

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{заг}} / E_{\text{ч}} = 214631 / 77427 = 2,77 \text{ року.} \quad (4.14)$$

)

Коефіцієнт економічної ефективності показує, яку частку капітальних витрат система повертає протягом одного року експлуатації:

$$E_{\text{еф}} = E_{\text{ч}} / K_{\text{заг}} = 77427 / 214631 = 0,36. \quad (4.15)$$

)

Індекс рентабельності за п'ятирічний період оцінюється як відношення сумарного економічного ефекту за п'ять років до капітальних витрат:

$$I_p = (5 \cdot E_{\text{ч}}) / K_{\text{заг}} = (5 \cdot 77427) / 214631 = 1,80. \quad (4.16)$$

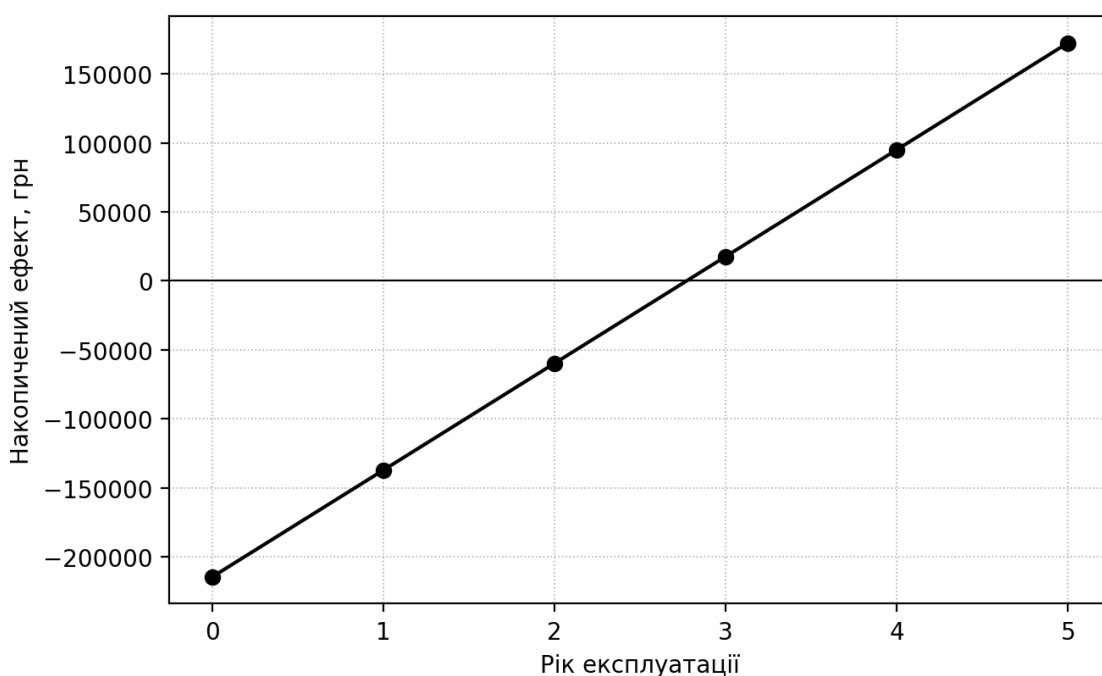


Рис. 4.2 - Накопичений економічний ефект від впровадження системи контролю і обліку енергоносіїв

З рисунка 4.2 видно, що проєкт переходить у зону додатного накопиченого ефекту між другим і третім роком експлуатації. За п'ять років роботи очікуваний накопичений ефект після компенсації капітальних витрат становить близько 172,5 тис. грн. Отже, запропонована модернізація є економічно доцільною, оскільки строк окупності менший за типовий строк служби лічильників, контролера та шафи збору даних.

Таблиця 4.4

Підсумкові показники економічної ефективності

Показник	Позначення	Значення
Загальні капітальні витрати	$K_{\text{заг}}$	214631 грн
Базове річне електроспоживання	$W_{\text{баз}}$	322439 кВт·год/рік
Очікувана економія електроенергії	ΔW	16122 кВт·год/рік
Вартість зекономленої електроенергії	$E_{\text{ел}}$	96732 грн/рік
Експлуатаційні витрати системи	$C_{\text{екс}}$	19305 грн/рік
Чистий річний економічний ефект	$E_{\text{ч}}$	77427 грн/рік
Строк окупності	$T_{\text{ок}}$	2,77 року
Коефіцієнт економічної ефективності	$E_{\text{еф}}$	0,36
Індекс рентабельності за 5 років	$I_{\text{р}}$	1,80

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ І ОБЛІКУ ЕНЕРГОНОСІЇВ

5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів

Експлуатація системи контролю і обліку енергоносіїв навчального корпусу пов'язана з роботою в електроустановках напругою до 1000 В, обслуговуванням лічильників, трансформаторів струму, шафи збору даних, комунікаційних ліній та комп'ютерного робочого місця оператора. Основну небезпеку становлять ураження електричним струмом, помилкові дії під час роботи у щитовій, випадкове розмикання вторинних кіл трансформаторів струму, перегрів контактних з'єднань, пожежна небезпека кабельних ліній і вплив факторів робочого середовища.

Під час виконання монтажних і налагоджувальних робіт персонал може контактувати з відкритими струмовідними частинами, корпусами електрообладнання, вимірювальними колами та металевими конструкціями щитової. Тому всі роботи мають виконуватися підготовленим електротехнічним персоналом із дотриманням організаційних і технічних заходів безпеки.

Таблиця 5.1

Небезпечні та шкідливі фактори під час експлуатації системи

Фактор	Джерело виникнення	Можливі наслідки	Заходи захисту
Електрична напруга 220/380 В	щити, лічильники, живлення шафи збору даних	ураження електричним струмом	знеструмлення, перевірка відсутності напруги, ізолювальні засоби
Вторинні кола трансформаторів струму	вимірювальні і кола головного вузла обліку	небезпечна перенапруга при розмиканні кола	заборона розмикання під навантаженням, короткозамикальні клема
Нагрів контактних з'єднань	клемми лічильників, автомати, клемники	пошкодження ізоляції, пожежа	періодичне підтягування контактів, тепловізійний контроль

Пожежна небезпека кабельних ліній	силові та інформаційні кабелі	займання ізоляції, задимлення	кабелі ВВГнг-LS, ПЗП, автоматичні вимикачі
Недостатня освітленість і незручна поза	робота в щитовій та за ПК	помилки персоналу, втома	нормоване освітлення, ергономічне робоче місце
Електромагнітні і завади	силові кабелі, шафи, комутація	помилки зчитування даних	екранована вита пара, розділення силових та інформаційних кіл

5.2 Заходи електробезпеки

Електробезпека системи забезпечується захисним заземленням металевих корпусів, автоматичним вимкненням живлення при аварійних режимах, правильним вибором автоматичних вимикачів, маркуванням провідників, застосуванням кабелів з негорючою ізоляцією та розділенням силових, вимірювальних і інформаційних кіл. Усі металеві корпуси шаф, двері щитів, DIN-рейки, екрани кабелів і корпуси допоміжного обладнання повинні бути приєднані до РЕ-провідника.

Для допоміжної однофазної лінії живлення шафи збору даних у розділі 3 прийнято автоматичний вимикач номінальним струмом 6 А і кабель ВВГнг-LS 3×1,5 мм². Перевірку умови автоматичного вимкнення виконуємо за граничним опором петлі фаза-нуль:

$$Z_s \leq U_0 / I_a, \quad (5.1)$$

де Z_s - повний опір петлі фаза-нуль, Ом; U_0 - фазна напруга мережі, В; I_a - струм спрацювання електромагнітного розчіплювача, А. Для автоматичного вимикача з характеристикою С приймаємо $I_a = 5 \cdot I_n = 5 \cdot 6 = 30$ А.

$$Z_{s.доп} = 220 / 30 = 7,33 \text{ Ом}. \quad (5.2)$$

За умови, що фактичний або розрахунковий опір петлі фаза-нуль у щитовій не перевищує 1,2 Ом, умова автоматичного вимкнення виконується:

$$Z_s = 1,2 \text{ Ом} < Z_{s.\text{доп}} = 7,33 \text{ Ом.} \quad (5.3)$$

Окрему увагу необхідно приділити вторинним колам трансформаторів струму. Під час роботи під навантаженням вторинне коло трансформатора струму не можна розмикати, оскільки це може спричинити появу небезпечної напруги на затискачах. Для безпечного обслуговування повинні застосовуватися випробувальні клемні блоки, короткозамикальні перемички та чітке маркування фазних провідників.

5.3 Організаційні та технічні заходи безпечного виконання робіт

Роботи з монтажу, перевірки та обслуговування системи контролю енергоносіїв виконуються за розпорядженням або нарядом відповідно до характеру робіт. Перед початком робіт відповідальна особа визначає межі робочого місця, перелік обладнання, що підлягає знеструмленню, наявність резервних джерел живлення, стан автоматичних вимикачів, заземлення і можливість випадкового ввімкнення.

До основних організаційних заходів належать призначення відповідального керівника або виконавця робіт, допуск персоналу з відповідною групою з електробезпеки, проведення цільового інструктажу, оформлення дозволу на виконання робіт, контроль завершення робіт і відновлення нормальної схеми живлення. Технічні заходи включають відключення живлення, вивішування заборонних плакатів, перевірку відсутності напруги, встановлення огорожень, заземлення металевих частин і застосування ізольованого інструменту.

Таблиця 5.2

Послідовність безпечного виконання робіт у шафі обліку

Етап	Зміст робіт	Контроль безпеки
Підготовка	визначення схеми живлення, перевірка документації, підготовка інструменту	інструктаж персоналу, наявність засобів захисту
Знеструмлення	відключення автоматів і допоміжного живлення шафи	плакат “Не вмикати - працюють люди”
Перевірка напруги	контроль відсутності напруги показчиком	перевірка справності показчика до і після вимірювання
Виконання робіт	монтаж, заміна, перевірка клем, зчитування параметрів	ізольований інструмент, заборона розмикання вторинних кіл ТС
Завершення	контроль затягування контактів, закриття шафи, відновлення живлення	запис у журналі технічного обслуговування

Під час обслуговування інформаційних ліній RS-485 та Ethernet необхідно забезпечувати їх прокладання окремо від силових кабелів або з дотриманням мінімальних відстаней і використанням екрана. Це зменшує вплив електромагнітних завад і підвищує надійність передавання показників лічильників.

5.4 Пожежна безпека системи

Пожежна безпека системи контролю і обліку енергоносіїв забезпечується правильним вибором кабельної продукції, автоматичних вимикачів, пристроїв захисту від імпульсних перенапруг, регулярним оглядом контактних з'єднань і недопущенням перевантаження допоміжних кіл. У роботі для живлення шафи збору даних прийнято кабель ВВГнг-LS 3×1,5 мм², що зменшує поширення горіння і димоутворення у разі аварійного нагрівання.

Основними потенційними причинами пожежі можуть бути поганий контакт у клемному з'єднанні, неправильне підключення вторинних кіл, перевантаження допоміжної лінії, коротке замикання у блоці живлення або пошкодження ізоляції кабелю. Для зниження ризику необхідно виконувати

періодичний огляд шафи збору даних, перевіряти температуру контактних з'єднань, очищувати щитове обладнання від пилу та не допускати зберігання горючих матеріалів у приміщенні електрощитової.

Приміщення, у якому розміщено головний вузол обліку та шафу збору даних, повинно бути забезпечене первинними засобами пожежогасіння. Для електрообладнання під напругою доцільно застосовувати вуглекислотні або порошкові вогнегасники. Використання води для гасіння електрообладнання під напругою забороняється.

5.5 Безпечна експлуатація обладнання системи та робочого місця оператора

Після введення системи в експлуатацію основні операції персоналу пов'язані зі зчитуванням архіву, переглядом графіків споживання, формуванням звітів, контролем аварійних повідомлень і періодичною перевіркою коректності роботи приладів обліку. Оператор системи не повинен виконувати перемикання в силових колах без відповідного допуску. Доступ до шафи збору даних і головного вузла обліку має бути обмежений уповноваженим електротехнічним персоналом.

Робоче місце оператора повинно відповідати вимогам безпечної роботи з комп'ютерною технікою. Монітор розміщується на відстані 600-700 мм від очей, екран не повинен створювати відблисків, освітлення має бути достатнім для роботи з документацією, а тривала робота з архівними даними повинна чергуватися з короткими перервами. Звітні форми системи слід будувати так, щоб оператор міг швидко виявляти перевищення лімітів, відхилення від добового профілю та аварійні події.

Для підвищення безпеки експлуатації передбачається ведення журналу подій, резервне копіювання архіву показників, обмеження доступу до налаштувань контролера паролем, маркування каналів зв'язку та періодична

перевірка правильності часу в лічильниках. Ці заходи зменшують ризик помилкового формування звітності та втрати даних енергетичного моніторингу.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розроблено технічні рішення щодо удосконалення системи контролю і обліку енергоносіїв навчального корпусу №1 НУБіП України. Необхідність модернізації обґрунтовано значною площею будівлі, тривалим режимом її експлуатації, наявністю великої кількості навчальних, адміністративних, допоміжних і технічних приміщень, а також нерівномірним добовим та сезонним характером споживання енергоносіїв.

У першому розділі визначено вихідні дані навчального корпусу як об'єкта енергоспоживання. Встановлено, що будівля має загальну площу 10132,2 м², експлуатується 308 днів на рік у режимі 08:00-20:00 і включає значну кількість електричних та теплових споживачів. До основних груп електроспоживачів віднесено внутрішнє освітлення, комп'ютерну та офісну техніку, вентиляційне обладнання, допоміжні силові споживачі, засоби обліку та зв'язку.

У технологічній частині виконано розрахунок вентиляції підвального приміщення навчального корпусу. Для приміщення розмірами 15×25×4 м визначено об'єм 1500 м³ і необхідну продуктивність вентиляції 6000 м³/год. Прийнято круглий повітропровід діаметром 0,56 м, розрахункову швидкість повітря 6,79 м/с, тиск вентилятора 350 Па та відцентровий вентилятор з електродвигуном 1,1 кВт. Розрахунковий струм електродвигуна становить 2,75 А, а орієнтовне річне споживання вентиляційної установки - 3049 кВт·год. Це підтвердило доцільність виділення вентиляційного обладнання як окремої контрольованої групи у системі енергомоніторингу.

У третьому розділі виконано електротехнічне обґрунтування системи контролю і обліку. Розраховано, що сумарна встановлена потужність основних електроприймачів становить 127,0 кВт, а розрахункова активна потужність - 87,24 кВт. Повна розрахункова потужність дорівнює 96,93 кВА, а струм головного вводу - 147,3 А. Для головного вузла обліку обрано трансформатори струму 200/5 А класу точності 0,5S, трифазний багатотарифний електронний лічильник і цифровий інтерфейс RS-485/Modbus. Виконано перевірку

вторинних вимірювальних кіл, обґрунтовано вибір локальної шафи збору даних, розраховано власне живлення шафи та обсяг інформаційного архіву. Річний обсяг архіву при опитуванні десяти приладів з інтервалом 15 хв становить близько 21,4 Мбайт, що є незначним для сучасного контролера або локальної бази даних.

У четвертому розділі виконано техніко-економічне обґрунтування впровадження системи. Загальні капітальні витрати з урахуванням обладнання, монтажу, налагодження, транспортування, маркування та навчання персоналу становлять 214631 грн. Базове річне електроспоживання корпусу за розрахунковою активною потужністю оцінено у 322439 кВт·год/рік. За рахунок оперативного моніторингу, контролю графіків навантаження, виявлення перевитрат і оптимізації режимів роботи очікуване скорочення непродуктивного споживання прийнято на рівні 5 %, що відповідає економії 16122 кВт·год/рік. За тарифу 6,0 грн/(кВт·год) вартість зекономленої електроенергії становить 96732 грн/рік, а чистий економічний ефект після врахування експлуатаційних витрат - 77427 грн/рік. Строк окупності модернізації становить 2,77 року.

У п'ятому розділі розроблено заходи з охорони праці та безпечної експлуатації системи. Проаналізовано небезпечні фактори під час роботи з електроустановками до 1000 В, вузлами обліку, трансформаторами струму, шафою збору даних та комп'ютерним робочим місцем оператора. Запропоновано заходи електробезпеки, пожежної безпеки, організації безпечного виконання робіт, обслуговування вторинних кіл трансформаторів струму та резервного копіювання архіву показників. Перевірка умови автоматичного вимкнення підтвердила відповідність допоміжної лінії шафи збору даних вимогам електробезпеки.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання запропонованих технічних рішень для поетапної модернізації систем енергомоніторингу навчальних та адміністративних будівель. Розроблена

система дозволяє підвищити точність обліку енергоресурсів, зменшити вплив людського фактора, забезпечити накопичення архіву даних, виявляти нехарактерні режими споживання та формувати інформаційну основу для подальших енергозберігаючих заходів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила улаштування електроустановок. Київ : Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2017.
2. Про затвердження Кодексу комерційного обліку електричної енергії : постанова НКРЕКП від 14.03.2018 № 311. URL: <https://www.nerc.gov.ua/acts/pro-zatverdzhennya-kodeksu-komertsiiynogo-obliku-elektrichnoi-energii>.
3. Кодекс систем розподілу : постанова НКРЕКП від 14.03.2018 № 310. Київ : НКРЕКП, 2018.
4. Правила роздрібного ринку електричної енергії : постанова НКРЕКП від 14.03.2018 № 312. Київ : НКРЕКП, 2018.
5. Закон України «Про енергетичну ефективність». Відомості Верховної Ради України, 2022.
6. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель». Відомості Верховної Ради України, 2017.
7. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Київ : Мінрегіон України, 2013.
8. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ : Мінрегіон України, 2018.
9. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. Київ : Мінрегіон України, 2016.
10. ДСТУ Б А.2.4-4:2009. Система проєктної документації для будівництва. Основні вимоги до проєктної та робочої документації. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009.
11. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Київ : МОЗ України, 1999.
12. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Київ : МОЗ України, 1999.
13. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів : НПАОП 40.1-1.21-98. Київ : Держнаглядохоронпраці України, 1998.

14. ДСТУ ISO 50001:2020. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020.
15. ISO 50001:2018. Energy management systems - Requirements with guidance for use. Geneva : International Organization for Standardization, 2018.
16. ISO 50006:2023. Energy management systems - Evaluating energy performance using energy performance indicators and energy baselines. Geneva : International Organization for Standardization, 2023.
17. ISO 50015:2014. Energy management systems - Measurement and verification of energy performance of organizations. General principles and guidance. Geneva : ISO, 2014.
18. IEC 62053-21:2020. Electricity metering equipment - Particular requirements - Static meters for AC active energy. Geneva : International Electrotechnical Commission, 2020.
19. IEC 62053-22:2020. Electricity metering equipment - Particular requirements - Static meters for AC active energy, classes 0,1S, 0,2S and 0,5S. Geneva : IEC, 2020.
20. IEC 62053-23:2020. Electricity metering equipment - Particular requirements - Static meters for reactive energy. Geneva : IEC, 2020.
21. IEC 62056-6-1:2023. Electricity metering data exchange - The DLMS/COSEM suite - Object Identification System. Geneva : IEC, 2023.
22. IEC 62056-6-2:2023. Electricity metering data exchange - The DLMS/COSEM suite - COSEM interface classes. Geneva : IEC, 2023.
23. IEC 61557-12:2018. Electrical safety in low voltage distribution systems - Power metering and monitoring devices. Geneva : IEC, 2018.
24. IEC 61439-1:2020. Low-voltage switchgear and controlgear assemblies. Part 1: General rules. Geneva : IEC, 2020.
25. IEC 60364-5-52:2009. Low-voltage electrical installations. Selection and erection of electrical equipment. Wiring systems. Geneva : IEC, 2009.

26. EN 50160:2022. Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution networks. Brussels : CENELEC, 2022.
27. Modbus Organization. MODBUS Application Protocol Specification V1.1b3. 2012. URL: <https://www.modbus.org/specs.php>.
28. Schneider Electric. Electrical Installation Guide. Schneider Electric, 2024.
29. Siemens AG. SENTRON Power Monitoring: Technical documentation and application examples. Nuremberg : Siemens AG, 2023.
30. ABB. Technical Application Papers No. 10. Photovoltaic plants and electrical installation guidance. Bergamo : ABB, 2010.
31. ASHRAE Handbook. HVAC Applications. Atlanta : ASHRAE, 2023.
32. Ратушняк Г. С., Попова Г. С. Енергозбереження в системах теплопостачання та вентиляції : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2013.
33. Шкрабець Ф. П. Електропостачання : навчальний посібник. Дніпро : НГУ, 2015.
34. Бойко М. Ф. Електропостачання сільського господарства : підручник. Київ : Урожай, 1995.
35. Калетнік Г. М., Гончарук І. В., Ємчик Т. В. Енергозбереження та енергоефективність у сільському господарстві : монографія. Вінниця : ВНАУ, 2020.