

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІННІ 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: «МОДЕРНІЗАЦІЯ ДАХОВОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ»

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)

Виконав

Кононюк П.В.
(підпис) (ПІБ)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., доцент Радько І.П.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

КИЇВ - 2026

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки
та електротехнологій
доцент, к.т.н. /ОКУШКО О.В./
„_____“ _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Кононюк Павло Вікторович
(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність: **141 - «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»**

Тема бакалаврської роботи: **«Модернізація дахової сонячної електростанції»**
затверджена наказом ректора НУБіП України від «30» жовтня 2025 р. № 2607 "С".

Термін подання завершеної роботи на кафедру: _____ (рік, місяць, число)

Вихідні дані до 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; 7) ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення; 8) ДСТУ 8825:2019. Системи фотоелектричні. Загальні вимоги та випробування; 9) Технічна документація на обладнання: JA Solar JAM72D40-625/MB, Growatt SPH 30000TL3 BH-UP, Grundfos CM5-5; 10) Матеріали щодо технічного стану об'єкта — навчального корпусу НУБіП України (вул. Героїв Оборони, 12, м. Київ).

Перелік питань, які потрібно розробити:

1) Аналіз стану, перспектив і напрямків реалізації завдань, вирішуваних у роботі; 2) Розробити технологічну та електротехнічну частини; 3) Вдосконалити систему автоматизованого водопостачання; 4) Розкрити питання з охорони праці; 5) Оцінити основні техніко-економічні показники.

Перелік графічних документів:

— Схема розміщення фотоелектричних модулів на даху навчального корпусу.
— Схема розміщення освітлювального обладнання (LED-панелі) по 2-му поверху будівлі.

Дата видачі завдання: 10 листопада 2025 р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи _____ **Радько І.П.**

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

Кононюк П.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	3
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ.....	11
1.1. Загальні відомості про об'єкт.....	11
1.2. Аналіз існуючої системи електропостачання будівлі.....	12
1.3. Обґрунтування необхідності модернізації.....	13
1.4. Огляд і порівняння технологій сонячних панелей.....	15
1.5. Аналіз споживання електроенергії по сезонах та часу доби.....	16
1.6. Система кріплення ФЕМ та конструктивне рішення даху.....	19
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	22
2.1. Опис існуючої системи електропостачання та навантажень.....	22
2.2. Вибір типу та концепції сонячної електростанції.....	23
2.3. Сонячний ресурс Київського регіону та очікуваний виробіток.....	25
2.4. Стратегія підключення до мережі та нетбілінг.....	26
2.5. Очікуваний місячний профіль генерації та балансу з навантаженням.....	27
2.5.1. Методика складання місячного балансу.....	29
2.5.2. Пояснення коефіцієнтів і вихідних даних.....	30
РОЗДІЛ 3. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА.....	33
3.1. Розрахунок та підбір обладнання СЕС.....	33
3.1.1. Вибір та характеристики сонячних панелей.....	33
3.1.2. Формування стрінгів та перевірка електричної сумісності.....	35
3.1.3. Підбір гібридного інвертора.....	37
3.1.4. Розрахунок та вибір кабельної продукції.....	38
3.3. Розрахунок системи штучного освітлення.....	41
3.3.1. Нормативні вимоги та методика розрахунку.....	41
3.3.2. Вибір типу освітлювального приладу.....	42
3.3.3. Вихідні дані для розрахунку.....	43
3.3.4. Методика та приклад детального розрахунку.....	43
3.3.5. Зведені результати по поверххах.....	45
3.4. Конструктивне виконання та монтаж СЕС.....	46
3.5. Система захисту і заземлення.....	47
3.6. Монтаж та підключення LED-системи освітлення.....	55
3.7. Розрахунок параметрів для приміщень різного призначення.....	56
3.7.1. Комп'ютерний клас.....	56
3.7.2. Лабораторія електрообладнання.....	57
3.7.3. Коридор.....	57
3.8. Повна специфікація проекту — зведена таблиця обладнання.....	58
РОЗДІЛ 4. СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ.....	60
4.1. Аналіз режимів роботи гібридної СЕС.....	60
4.1.1. Режим «Сонячний день, генерація перевищує навантаження».....	60

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.					Лит.		Лист	Листов
Провер.							3	99
Реценз.								
Н. Контр.								
Утверд.								

4.1.2. Режим «Хмарний день або перехідний час доби».....	61
4.1.3. Нічний режим.....	61
4.1.4. Аварійний режим EPS (Emergency Power Supply).....	62
4.2. Система моніторингу, управління та інтеграції.....	62
4.3. Детальне порівняння технологій PERC та TOPCon.....	64
4.4. Акумуляторний накопичувач: обґрунтування і перспективи.....	65

РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ 74

5.1. Методичні підходи до оцінки економічної ефективності.....	67
5.2. Визначення капітальних витрат.....	67
5.3. Розрахунок річного економічного ефекту.....	69
5.3.1. Ефект від генерації СЕС.....	69
5.3.2. Ефект від LED-освітлення.....	70
5.3.3. Ефект від заміни насосу.....	70
5.3.4. Загальний річний економічний ефект.....	70
5.4. Термін окупності та аналіз ефективності проєкту.....	70
5.5. Аналіз ризиків та чутливості.....	71
5.5.1. Ризик зміни тарифу на електроенергію.....	71
5.5.2. Ризик зниження генерації.....	72
5.5.3. Ризик виходу з ладу обладнання.....	72
5.6. Зведений техніко — економічний підсумок.....	73
5.7. Графік реалізації проєкту.....	74

РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ.....76

6.1. Правова основа та нормативна база.....	76
6.2. Електробезпека.....	77
6.3. Безпека при роботах на висоті.....	77
6.4. Пожежна безпека.....	78
6.5. Виробнича санітарія.....	78
6.6. Безпека життєдіяльності в умовах воєнного стану.....	79
6.7. Засоби індивідуального захисту та перша допомога.....	79

ВИСНОВКИ..... 81

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....84

ДОДАТОК А. КАТАЛОЖНІ ЛИСТИ ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ.....88

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

УДК: 621.311.25

РЕФЕРАТ

СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, ФОТОЕЛЕКТРИЧНА СИСТЕМА, ТОРСОН, ГІБРИДНИЙ ІНВЕРТОР, ОСВІТЛЕННЯ, LED, НАСОС підвищувальний, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, МОДЕРНІЗАЦІЯ.

Об'єкт дослідження — система електропостачання навчального корпусу НУБіП України, що включає гібридну сонячну електростанцію потужністю 28,1 кВт, систему штучного освітлення та водо[насос опалення]ня.

Предмет дослідження — процеси перетворення сонячної енергії у фотоелектричній системі, розрахунок рівнів освітленості навчальних приміщень і гідравлічні характеристики системи водопостачання.

Мета роботи — підвищення ефективності та надійності електропостачання навчального корпусу шляхом комплексної модернізації: заміни застарілих фотоелектричних модулів на панелі технології TOPCon, встановлення гібридного інвертора з функцією резервного живлення EPS, переведення всього освітлення будівлі на LED — прилади за нормами ДБН В.2.5 — 28:2018 та заміни зношеного насоса для водопостачання.

У роботі виконано детальний аналіз технічного стану існуючої СЕС та обґрунтовано доцільність її модернізації. Проведено порівняльний аналіз

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технологій фотоелектричних модулів PERC та TOPCon. Здійснено розрахунок і підбір усього основного та допоміжного обладнання: 45 панелей JA Solar JAM72D40 — 625/MB по 625 Вт, гібридного інвертора Growatt SPH 30000TL3 BH — UP потужністю 30 кВт, кабельної продукції та захисної апаратури DC і AC ланцюгів. Виконано перевірку електричної сумісності всіх елементів системи.

Розраховано параметри системи водопостачання: визначено теплове навантаження 5,5 м³/год, витрату теплоносія 7,6 м³/год, необхідний напір 8 м.вод.ст. та підібрано насос Grundfos CM5 — 5 потужністю 0,75 кВт. Виконано повний розрахунок штучного освітлення трьох поверхів будівлі (загальна площа 2235,8 м²) методом коефіцієнта використання світлового потоку з визначенням кількості та потужності LED—приладів.

Розроблено комплекс заходів з охорони праці при монтажі та обслуговуванні СЕС і насосного обладнання. Надано детальне техніко — економічне обґрунтування прийнятих рішень.

Очікуваний річний економічний ефект від реалізації проєкту: від генерації СЕС — 266 000 грн, від LED—освітлення — 410 400 грн, від насосу — 11 875 грн. Разом: 688 275 грн/рік при загальних капіталовкладеннях 959 910 грн. Простий термін окупності — 1,39 роки.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У 2022-2026 роках питання надійного електропостачання стало для більшості українських установ не теоретичним, а практичним. Після систематичних відключень кожен директор школи, кожен завгосп університету знає: покладатись виключно на централізовану мережу — ризик. Тим паче що рахунок за електрику щороку стає відчутнішим: тариф для юридичних осіб за чотири роки зріс приблизно вдвічі. На цьому тлі власна генерація із сонячних панелей — вже не примха, а нормальне інженерне рішення.

Сонячна енергетика сьогодні є одним із найдоступніших і технологічно зрілих рішень для децентралізованого виробництва електроенергії. Ціни на фотоелектричні модулі за останнє десятиліття знизились у 10-15 разів, ефективність панелей зросла з 12-14% до 22-24%, а сучасні гібридні інвертори дозволяють об'єднати сонячну генерацію, акумуляторне накопичення і мережу в єдину інтелектуальну систему. Все це робить СЕС економічно виправданим рішенням навіть для бюджетних установ — за умови грамотного проектування.

Об'єктом даної дипломної роботи є навчальний корпус Національного університету біоресурсів і природокористування України (НУБіП) — будівля літ. А на вул. Героїв Оборони, 12 у м. Київ. Університет є одним із провідних аграрних закладів вищої освіти України, і те, що він першим серед подібних установ обладнав навчальний корпус сонячними панелями ще у 2022 році, показує прогресивний підхід керівництва до питань енергоефективності. Однак за чотири роки від першої інсталяції ситуація змінилась: з'явилися значно

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ефективніші технології, виявились прогалини в первинному проекті, а ряд суміжних інженерних систем будівлі потребує оновлення.

Необхідність проведення модернізації визначається кількома незалежними чинниками. По — перше, встановлені у 2022 році полікристалічні панелі морально застаріли — їх ефективність 16-17% суттєво поступається сучасним монокристалічним модулям з технологією TOPCon, що досягають 22,5% і більше. Замінивши панелі при тій самій площі даху, можна збільшити генерацію майже вдвічі. По — друге, мережевий інвертор першого покоління не підтримує функцію резервного живлення: при відключенні зовнішньої мережі система зупиняється повністю — навіть опівдні, коли панелі генерують на повну. Встановлення гібридного інвертора з акумулятором вирішує цю проблему і перетворює СЕС із звичайного «генератора» на повноцінну систему резервного живлення. По — третє, освітлення будівлі не відповідає нормам ДБН В.2.5 — 28:2018 — старі люмінесцентні лампи витрачають майже вдвічі більше електроенергії, ніж сучасні LED — прилади, при нижчому рівні освітленості. І нарешті, підвищувальний насос системи водопостачання виробив свій ресурс і потребує заміни на сучасний агрегат з регульованою продуктивністю.

Мета роботи — розробити проєкт комплексної модернізації: сонячної електростанції, освітлення і насосного обладнання навчального корпусу НУБіП України.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- проаналізувати існуючу систему електропостачання будівлі та обґрунтувати необхідність і напрями модернізації;
- виконати порівняльний аналіз технологій фотоелектричних модулів та обрати оптимальне рішення;
- розрахувати і підібрати основне обладнання СЕС: панелі, інвертор, кабелі, захисна апаратура;
- перевірити електричну сумісність усіх елементів DC і AC ланцюгів;
- виконати гідравлічний розрахунок системи водопостачання і підібрати підвищувальний насос водопостачання;
- розрахувати систему штучного освітлення трьох поверхів будівлі методом коефіцієнта використання відповідно до ДБН В.2.5—28:2018;
- розробити заходи з охорони праці при обслуговуванні модернізованої системи;
- надати техніко — економічне обґрунтування та розрахувати термін окупності проєкту.

Практичне значення роботи полягає в тому, що вона виконана для реального об'єкту і містить конкретні технічні рішення, які можуть бути реалізовані в натурі без суттєвого доопрацювання. Проєкт може слугувати типовим рішенням для аналогічних навчальних корпусів.

Наукова новизна роботи — в комплексному підході до модернізації: замість поетапного оновлення окремих систем запропоновано єдину концепцію, що об'єднує генерацію, освітлення і теплопостачання в рамках одного технічного

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рішення, яке дає синергетичний економічний ефект і значно менший сукупний термін окупності, ніж три окремих проекти.

Дипломна робота виконана відповідно до завдання наукового керівника та вимог освітньо — професійної програми підготовки бакалаврів зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ

1.1. Загальні відомості про об'єкт

Навчальний корпус НУБіП України розташований у м. Київ за адресою: вул. Героїв Оборони, 12. Будівля літ. А введена в експлуатацію у 1970 — х роках і пройшла капітальний ремонт у 2018 році, під час якого були замінені вікна, відновлено фасад, переобладнано підвісні стелі типу Армстронг та частково оновлено внутрішні мережі. Конструктивне рішення — цегляна несуча стіна, залізобетонні перекриття, скатна покрівля з металочерепицею з кутом нахилу 35°.

Будівля триповерхова. Загальна площа всіх приміщень — 2235,8 м², у тому числі: перший поверх — 773,6 м², другий — 728,4 м², третій — 733,8 м². Висота стель: у навчальних аудиторіях — 3,2 м, у коридорах — 2,7 м, у технічних приміщеннях — 2,5 м.

Функціональне призначення — навчально — лабораторний корпус ННІ Енергетики, автоматики і енергозбереження. Перший поверх займають адміністративні приміщення кафедри, аудиторії для лекцій та актова зала. Другий поверх — навчальні лабораторії електромеханіки та електроприводу, оснащені силовим обладнанням, стендами, вимірювальними приладами і тренажерами. Третій поверх — кафедральні кімнати, комп'ютерні класи і аудиторії семінарів.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальна розрахункова місткість корпусу — близько 400 студентів і 60 викладачів та співробітників у робочий день.

Будівля підключена до зовнішніх інженерних мереж: електропостачання — від КТП 10/0,4 кВ університетського кампусу через кабельне введення; теплопостачання — централізована водяна двотрубна система; водопостачання і каналізація — від міських мереж. На даху будівлі — загальна площа покрівлі орієнтовно 900 м², з них придатна для розміщення СЕС — близько 650 м² (центральна частина, вільна від вентиляційних шахт і сходових надбудов).

Місто Київ розташоване на 50° пн.ш., що відповідає зоні помірно — континентального клімату з чотирма добре вираженими сезонами. Середньорічна кількість годин сонячного сяйва — 1900-1950 год/рік. Максимальна інтенсивність сонячного випромінювання влітку досягає 900-950 Вт/м² на горизонтальній поверхні. Для покрівлі з оптимальним нахилом панелей 32-35° та орієнтацією на південь питома річна генерація становить 1050-1100 кВт·год на 1 кВт встановленої потужності. Ці дані є вихідними для оцінки очікуваного виробітку СЕС.

1.2. Аналіз існуючої системи електропостачання будівлі

Система електропостачання корпусу до модернізації побудована за традиційною схемою: живлення від зовнішньої мережі => вводний автомат => лічильник => головний розподільний щит (ГРЩ) => поповерхові щити освітлення і силових споживачів. ГРЩ розміщений у технічному приміщенні першого

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поверху. Схема живлення — трифазна, 380/220 В, 50 Гц. Категорія надійності електропостачання за ПУЕ — II.

Встановлена потужність споживачів до модернізації: освітлення (432 люмінесцентні лампи 35-72 Вт) — орієнтовно 22-31 кВт; підвищувальний насос водопостачання — 1,5 кВт (старий агрегат без регулювання); комп'ютерне та офісне обладнання — 8 кВт; лабораторні стенди — 3,5 кВт; резерв — близько 3,5 кВт. Разом: до 48 кВт встановленої потужності, розрахункова — близько 32-35 кВт з урахуванням коефіцієнта попиту 0,7-0,75.

Фактичне споживання — 4 000-5 000 кВт·год на місяць, або 48 000-60 000 кВт·год на рік. При тарифі 9,50 грн/кВт·год це 264 000-330 000 грн/рік. Це суттєві витрати у кошторисі університету, що і є головним економічним аргументом на користь встановлення СЕС.

У 2022 році на даху корпусу була змонтована фотоелектрична система першого покоління. До її складу входили полікристалічні панелі сумарною потужністю близько 4 кВт.

Незважаючи на позитивний ефект, система першого покоління виявила ряд суттєвих недоліків в процесі чотирирічної експлуатації, що в кінцевому підсумку і зумовило необхідність її повної модернізації.

1.3. Обґрунтування необхідності модернізації

Проблема 1. Низька ефективність панелей. Полікристалічні модулі 2022 року мають паспортний ККД 16,2%, і ця цифра вже знизилась за рахунок

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

природної деградації (~2% у перший рік, ~0,6% щороку далі) — до приблизно 15,2-15,5% на момент аудиту. Сучасні TOPCon — панелі JA Solar мають ККД 22,5% з гарантованою деградацією не більше 1% у перший рік і 0,4% далі. При заміні системи на 28 — кіловатну, генерація зросте у декілька раз. Але навіть якби ми залишали ту саму встановлену потужність — ефективніші панелі виробляли б більше при хмарній погоді, при косих кутах сонця зранку і ввечері, в літню спеку.

Проблема 2. Освітлення не відповідає нормам. У аудиторіях освітленість складає менше норми в 300 лк за ДБН В.2.5 — 28:2018. Частина ламп вийшла з ладу, частина дає знижений світловий потік через старіння люмінофору (ресурс люмінесцентних ламп — 10 000-15 000 год, при роботі 8 год/день це 3,4-5,1 року). Заміна всіх ламп на LED — панелі одним заходом дозволяє водночас виправити ситуацію з освітленістю і суттєво знизити споживання.

Проблема 3. Знос насосного обладнання. Насос підвищення тиску системи водопостачання встановлено ще у 2007 році при останньому плановому ремонті вузол вводу водопроводу. За 17 років безперервної сезонної роботи (7-8 місяців/рік) насос напрацював орієнтовно 29 000-34 000 годин. Паспортний ресурс агрегатів такого типу — 25 000-30 000 годин. Тобто обладнання вже фактично виробило ресурс і потребує заміни. Нова модель з триступінчастим регулюванням додатково знизить споживання насосу на 20-30% у перехідні сезони.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4. Огляд і порівняння технологій сонячних панелей

Обґрунтований вибір типу фотоелектричних модулів — одне з ключових проєктних рішень, що визначає ефективність усієї системи на наступні 25-30 років. Тому перед тим, як перейти до розрахунків, варто розглянути основні конкуруючі технології.

Полікристалічний кремній (poly — Si) — перше масове рішення для комерційних СЕС. Виробничий процес порівняно простий і дешевий: злиток кремнію ріжуть на пластини, не вимагаючи ідеальної кристалічної структури. Недолік — велика кількість меж між кристалітами, де носії заряду рекомбінують, — ось чому ефективність панелей обмежена 15-17%. На сьогодні цю технологію практично повністю витіснено з ринку більш ефективними рішеннями.

Монокристалічний кремній (mono — Si) і технологія PERC (Passivated Emitter and Rear Cell) — провідна технологія 2018-2022 років. Монокристалічна структура сама по собі дає вищу ефективність (кордонів між кристалітами немає), а додаткова пасивація тильної поверхні (шар Al_2O_3) зменшує рекомбінацію зворотніх носіїв. Результат — ефективність 19-21%. PERC — модулі досі широко представлені на ринку і є доступним вибором.

TOPCon (Tunnel Oxide Passivated Contact) — технологія, яка за 2022-2024 роки стала домінуючою у сегменті комерційних і промислових СЕС. Ключова відмінність від PERC — принципово інша структура тильного контакту: замість алюмінієвого BSF або простої пасивації наноситься ультратонкий (1-2 нм) тунельний шар оксиду кремнію SiO_2 і далі — легований фосфором

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

полікристалічний кремній n — типу. Ця структура майже повністю блокує рекомбінацію і дозволяє «вилавлювати» носіїв заряду, що інакше втрачалися б на контакті. Ефективність — 22,5-23,5% у серійних модулях. Деградація нижча: 1% у перший рік і 0,4% щорічно далі (проти 2% і 0,55% у PERC). Через 25 років TOPCon — панель зберігає 87,4% початкової потужності, PERC — лише 82,5%.

Існують і перспективніші технології — HJT (гетеропереходи кремній/аморфний кремній) з ефективністю 24-25%, і перовскітні комірки з лабораторними рекордами понад 33%. Але для комерційного проєкту 2025-2026 років вони або надто дорогі (HJT), або ще не вийшли на масовий ринок (перовскіт). TOPCon дає найкраще співвідношення ефективності і вартості з того, що наразі є на ринку.

За результатами аналізу для даного проєкту обрано TOPCon — панелі JA Solar JAM72D40 — 625/MB. Компанія JA Solar входить до п'ятірки найбільших виробників фотоелектричних модулів у світі, офіційно представлена в Україні і забезпечує гарантійне обслуговування 12 років на продукт і 30 років на потужність (не нижче 80% від $P_{\max}$).

1.5. Аналіз споживання електроенергії по сезонах та часу доби

Графік споживання корпусу досить передбачуваний — це полегшує розрахунок СЕС. Споживання безпосередньо пов'язане з навчальним розкладом університету.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У робочий день навантаження починає зростати о 7:30-8:00, коли вмикається освітлення і запускаються комп'ютери. Пікове навантаження — з 9:00 до 17:00, коли одночасно задіяні всі три поверхи. Після 18:00 навантаження різко спадає до мінімуму (чергове освітлення, охоронна сигналізація). Вихідні дні — мінімальне споживання.

По сезонах картина така: осінь і весна (вересень-жовтень, березень-квітень) — навчальний процес у повному обсязі, плюс опалення в перехідний сезон. Зима (листопад-лютий) — максимальне споживання через опалення і більшу тривалість штучного освітлення (короткий світловий день). Літо (червень-серпень) — мінімальне споживання (канікули, частина обладнання відключена).

Ключовий збіг: максимальне споживання будівлі — з 9:00 до 17:00 — практично точно накладається на пік сонячної генерації (10:00-15:00). Це означає, що в робочі дні весни та літа практично все споживання будівлі може покриватись безпосередньо від СЕС, без акумуляторів. Акумулятори потрібні переважно для двох сценаріїв: вечірнє споживання і резерв на час відключень мережі.

1.7. Огляд нормативної бази для проектування СЕС в Україні

Проектування і введення в дію фотоелектричних систем в Україні здійснюється в межах правового та нормативного поля, що охоплює кілька рівнів: законодавчий (закони України), нормативно — правові акти НКРЕКП і Мінекоенерго, технічні стандарти ДСТУ і національні адаптації МЕК.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На законодавчому рівні ключовими є Закон України «Про альтернативні джерела енергії» від 20.02.2003 № 555 — IV (з численними змінами і доповненнями) та Закон «Про ринок електричної енергії» від 13.04.2017 № 2019 — VIII. Перший встановлює правові засади використання відновлюваних джерел і гарантії для виробників «зеленої» енергії. Другий регулює відносини між виробниками, передавачами та споживачами електроенергії в умовах ринкової моделі.

На технічному рівні проектування СЕС виконується відповідно до: ДСТУ 8825:2019 «Системи фотоелектричні. Загальні вимоги та випробування»; ДСТУ ІЕС 62109 — 1:2019 «Безпечність перетворювачів потужності для використання у фотоелектричних системах»; Правил улаштування електроустановок (ПУЕ, видання 7 — е), зокрема розділів щодо захисту і заземлення; ДБН В.2.5 — 28:2018 (у частині, що стосується освітлення).

Для підключення СЕС до мережі необхідне отримання технічних умов від оператора системи розподілу (у Київській області — ДТЕК КЕМ), розробка проекту підключення і проходження технічного нагляду. Процедура регулюється Постановою НКРЕКП № 910 від 14.03.2018 «Правила приєднання електроустановок до електричних мереж». Термін отримання дозволу — 1-3 місяці залежно від потужності системи.

1.8. Формулювання технічного завдання на проектування

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На підставі проведеного аналізу сформульоване технічне завдання на проектування модернізованої системи електропостачання навчального корпусу НУБіП України, яке включає наступні вимоги.

Вимоги до СЕС: встановлена потужність — не менше 25 кВт; технологія фотоелектричних модулів — монокристалічна, ефективність $\geq 22\%$; тип системи — гібридна (on — grid + off — grid) з функцією EPS; час перемикання в режим EPS — ≤ 20 мс; вихідна напруга — трифазна 380/220 В, 50 Гц; моніторинг — онлайн через хмарну платформу; підключення акумуляторного банку — передбачити підготовку для 2 — го етапу.

Вимоги до освітлення: нормована освітленість у навчальних приміщеннях — 300 лк згідно з ДБН В.2.5 — 28:2018; технологія — LED, ефективність ≥ 90 лм/Вт; колірна температура — 3500-5000 К; CRI ≥ 80 ; коефіцієнт пульсацій $\leq 5\%$; тип приладу — вбудована панель формату 595×595 мм.

Вимоги до насосного обладнання: витрата — не менше 7,5 м³/год; напір — не менше 8 м.вод.ст.; регулювання продуктивності — не менше 3 ступенів; тип ротора — мокрий (без технічного обслуговування); клас захисту — не менше IP44; виробник — відомий бренд з офіційним представництвом в Україні.

1.6. Система кріплення ФЕМ та конструктивне рішення даху

Відповідно до конструктивного обстеження об'єкту, покрівля будівлі є скатною з нахилом 35° відносно горизонту і покрита металочерепицею (матеріал

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

покриття після ремонту 2018 року). Орієнтація схилу — переважно на південь (азимут 175-185°), що є оптимальним для розміщення сонячних панелей.

Нахил 35° відповідає оптимальному куту встановлення ФЕМ для Київського регіону (50° пн.ш.) за критерієм максимальної річної інсоляції. За даними PVGIS, при нахилі 35° і орієнтації на південь питома річна інсоляція становить 1 034 кВт·год/(кВт·рік) — на 8-12% вище, ніж при горизонтальному розміщенні, і на 3-5% вище, ніж при нахилі 25°. Наявний схил даху — готова основа для монтажу СЕС — без необхідності застосування додаткових регульованих підставок — кут нахилу покрівлі вже є оптимальним.

Для кріплення фотоелектричних модулів на скатному даху з металочерепицею обрана безпрофільна система кріплення ФЕМ (алюмінієва). Безпрофільна система — це конструкція прямого кріплення панелі до даху через алюмінієві опорні блоки без використання несучих рейок — профілів по всій довжині ряду.

Склад безпрофільної системи кріплення для 1 панелі: 4 алюмінієві опорні блоки 300 мм (анодований сплав АД31); 2 кінцевих притискачі (для бічних панелей) або 2 міжпанельних притискачі (між панелями) з нержавіючої сталі А2; монтажні метизи (болти, гайки, шайби) з нержавіючої сталі; ущільнювальні прокладки EPDM для герметизації місць пробивання покрівлі.

Порівняно з профільними аналогами безпрофільна система легша ($\approx 1,2$ кг/панель проти 2,8-4,0 кг), монтується швидше — не треба різати і вирівнювати

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рейки, — і між блоками не накопичується листя чи сніг. Для металочерепиці, де видимість кріплень обмежена схилом, це практично і естетично.

Кріплення до покрівлі виконується через спеціальні покрівельні шурупи (Ø 8 мм, довжина 80 мм, нержавіюча сталь) з ущільнювачем EPDM, що закручуються у крокви або суцільну обрешітку. В місцях пробивання металочерепиці наноситься поліуретановий герметик і встановлюються EPDM — ущільнювачі.

Заземлення рам панелей виконується через провідник РЕ 6 мм² мідний, прокладений вздовж усіх рядів і підключений до контуру заземлення будівлі ($R_{\text{заз}} \leq 4 \text{ Ом}$, перевіряється вимірюванням перед пуском).

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Опис існуючої системи електропостачання та навантажень

Навчальний корпус підключений до трифазної мережі напругою 380/220 В, частотою 50 Гц через кабельне введення від КТП університетського кампусу. Живлення здійснюється за однопроменевою схемою (категорія II за ПУЕ), тобто передбачено одне джерело живлення з можливістю аварійного переключення. Вводний автоматичний вимикач — 3Р 250 А. Облік електроенергії ведеться багатотарифним лічильником із зоновим тарифікуванням.

Від ГРЩ отримують живлення: щит освітлення 1 — го поверху, щит освітлення 2 — го поверху, щит освітлення 3 — го поверху, щит силових споживачів (насос, лабораторне обладнання), щит зовнішнього освітлення (не входить у розгляд цієї роботи). Від поповерхових щитів живляться групові лінії освітлення та розетки.

Після модернізації до схеми додається двонаправлений лічильник генерації, який фіксує як споживання з мережі, так і передачу надлишку генерації до мережі (нетбілінг). Вихід гібридного інвертора підключається до ГРЩ паралельно з введенням від КТП.

Розподіл електричного навантаження після модернізації — у таблиці 2.1. Значення наведено для умов повного освітлення всіх поверхів і роботи всього

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обладнання одночасно (встановлена потужність). Розрахункова потужність з коефіцієнтом попиту 0,75 складе: $29,21 \times 0,75 \approx 21,9$ кВт, що повністю покривається генерацією СЕС у ясний сонячний день.

Таблиця 2.1

Встановлена потужність споживачів після модернізації

Споживач	Потужність, кВт	Примітка
Система освітлення (324 LED — панелей $\times$ 40 Вт)	12,80	Всі 3 поверхи одночасно
Насос підвищення тиску системи водопостачання	1,10	Grundfos CM5 — 5
Комп'ютерне та офісне обладнання	8,00	Орієнтовно, 3 к — ти по ~20 ПК
Лабораторне обладнання кафедри	3,50	Стенди, прилади, вентиляція
Резерв (15% від суми)	3,81	На непередбачені споживачі
РАЗОМ (встановлена потужність)	29,21	

2.2. Вибір типу та концепції сонячної електростанції

Вибір архітектурного рішення СЕС — це стратегічне рішення, яке визначає не лише технічні характеристики, але й сценарії використання системи на весь термін служби. Є три принципово різних підходи.

Мережева (on — grid) СЕС — найпростіша конфігурація. Панелі => MPPT — контролер => інвертор => мережа. Вся генерація паралельна мережі, надлишок

передається назовні. Переваги: мінімальна вартість, висока надійність, простота обслуговування. Недоліки: при відключенні мережі система повністю зупиняється. Для університету з постійними відключеннями це критичний недолік.

Автономна (off — grid) СЕС — система повністю відірвана від мережі. Панелі => контролер заряду => акумулятори => інвертор => навантаження. Переваги: повна незалежність. Недоліки: щоб покрити нічне і ранкове споживання будівлі (25-30 кВт·год/доба), потрібна батарея ємністю 80-100 кВт·год. При вартості 8 000-10 000 грн/кВт·год такого накопичувача тільки акумулятори коштуватимуть 640 000-1 000 000 грн. Це надлишкове і економічно недоцільне рішення для об'єкта з наявним мережевим підключенням.

Гібридна (on — grid + off — grid) СЕС — інтелектуальне об'єднання обох підходів. Один гібридний інвертор одночасно підключений до панелей, акумуляторів і мережі. В нормальному режимі система живить навантаження від СЕС, надлишок заряджає акумулятори або йде в мережу. При відключенні мережі — автоматично переходить на автономний режим від панелей і акумуляторів за 20 мс. Акумуляторний банк порівняно невеликий (10-20 кВт·год) — він не для повного енергозабезпечення вночі, а для резерву критичних споживачів і зберігання денного надлишку.

Прийнято Варіант 3 — гібридна СЕС. Це рішення оптимально відповідає реаліям об'єкту: корпус підключений до мережі і не потребує повної автономії, але потребує резервного живлення під час відключень і максимальної економії на рахунках за електрику. Гібридна конфігурація вирішує обидві задачі.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Сонячний ресурс Київського регіону та очікуваний виробіток

Перед тим як перейти до вибору конкретного обладнання, визначимо кількісно, скільки електроенергії здатна виробити СЕС у нашому кліматичному регіоні. Це дозволить підтвердити або скорегувати вибрану встановлену потужність.

За даними European Commission's PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) для Києва (50,45° пн.ш., 30,52° сх.д.) при нахилі 33° та орієнтації на південь (азимут 0°):

- середньорічна питома генерація — 1 055 кВт·год/(кВт·рік);
- максимальна місячна генерація — травень, 130-140 кВт·год/кВт;
- мінімальна місячна генерація — грудень, 25-30 кВт·год/кВт.

Системний ККД враховує всі реальні втрати: кабельні втрати DC — 2%, втрати в інверторі — 1,6%, забруднення і запиленість панелей — 2%, температурний перегрів влітку — 3%, розузгодження в стрінгах і тіньові ефекти — 1,5%, перша деградація панелей — 0,5%. Разом:

$$\eta_{\text{сист}} = 1 - (0,02 + 0,016 + 0,02 + 0,03 + 0,015 + 0,005) = 0,894 \approx 0,89.$$

Однак виробники зазвичай наводять цифри генерації без урахування деяких з цих втрат, що пояснює різницю між «паспортним» значенням у специфікації (28 000-32 000 кВт·год) і нашим консервативним розрахунком:

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_{\text{рік}} = P_{\text{СЕС}} \times H_{\text{пит}} \times \eta_{\text{сист}} = 28,1 \times 1055 \times 0,89 \approx 26\,400 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

Для подальших економічних розрахунків приймаємо консервативне значення $W_{\text{рік}} = 28\,000 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$ — з урахуванням того, що реальна питома інсоляція може бути дещо вищою за базовий рік, а панелі нові і ще не деградували.

Для порівняння: денна генерація СЕС у травні (пік) складе: $W_{\text{день}} = 28\,000 / 365 \times (130/87,9) \approx 116 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{день}$. Денне споживання будівлі при коефіцієнті попиту 0,75 і 10 годинах роботи: $29,21 \times 0,75 \times 10 = 219 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{день}$. у сонячний травневий день СЕС покриє близько 53% добового споживання — решта береться з мережі чи акумуляторів у нічний час. Взимку частка СЕС знизиться до 15-20% — і це нормально для регіону з такою сонячністю.

2.4. Стратегія підключення до мережі та нетбілінг

Підключення СЕС до загальної мережі в Україні регулюється Законом України «Про альтернативні джерела енергії», Постановою НКРЕКП та технічними умовами обленерго (у даному випадку — ДТЕК Київські регіональні електромережі). Для юридичних осіб діє механізм нетбілінгу (net metering).

Принцип нетбілінгу: двонаправлений лічильник фіксує як споживання з мережі (кВт·год), так і передачу надлишку генерації до мережі (кВт·год). В кінці розрахункового місяця університет платить лише за різницю: якщо споживав 3000

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кВт·год і передав 1200 кВт·год — платить за 1800 кВт·год. Якщо згенерував більше, ніж спожив — різниця переноситься на наступний місяць. Влітку, коли СЕС генерує максимум при мінімальному навантаженні (канікули), університет накопичує «кредити» кВт·год, які використовує взимку.

Технічна вимога для підключення — встановлення двонаправленого лічильника класу точності 1.0, зміна договору з обленерго на «споживач — виробник», технічне підключення з узгодженим захистом від острівного режиму (anti — islanding). Growatt SPH 30000TL3 ВН — UP має вбудований захист anti — islanding відповідно до IEC 62116, що є обов'язковою умовою для підключення до мережі.

2.5. Очікуваний місячний профіль генерації та балансу з навантаженням

Щоб зрозуміти, як система поводить себе протягом року, наведемо помісячний баланс генерації і споживання. Споживання прийнято з урахуванням зниженого навантаження влітку (канікули) і підвищеного взимку (опалення, довге штучне освітлення).

Таблиця 2.2

Розрахунковий місячний баланс генерації та споживання

Місяць	Генерація, кВт·год	Споживання, кВт·год	Баланс (мережа), кВт·год	Покриття СЕС, %
Січень	700	4200	+3500	17

Місяць	Генерація, кВт·год	Споживання, кВт·год	Баланс (мережа), кВт·год	Покриття СЕС, %
Лютий	1050	3800	+2750	28
Березень	2200	3500	+1300	63
Квітень	3100	3000	−100	103
Травень	3600	2900	−700	124
Червень	3500	2400	−1100	146
Липень	3400	2200	−1200	155
Серпень	3100	2400	−700	129
Вересень	2400	3000	+600	80
Жовтень	1600	3800	+2200	42
Листопад	850	4200	+3350	20
Грудень	500	4300	+3800	12
РАЗОМ	26000	39700	+13700	65

З таблиці видно: у квітні-серпні СЕС генерує більше, ніж споживає будівля — надлишок передається в мережу за нетбілінгом. З вересня по березень СЕС покриває від 12 до 80% споживання. Загальна річна покритість від СЕС — близько 65% при консервативній оцінці генерації 26 000 кВт·год. Решта береться з мережі.

Зауважимо, що в таблиці використане консервативне значення генерації (26 000 кВт·год), дещо нижче прийнятого в економічних розрахунках (28 000 кВт·год), — через безпечний запас при моделюванні. Навіть при такій оцінці: з мережі купується лише $39\,700 - 26\,000 + 13\,700 = 13\,700$ кВт·год (у зимові місяці), або близько 35% від загального споживання.

2.5.1. Методика складання місячного балансу (таблиця 2.2)

Таблиця 2.2 побудована на основі розрахунку середньомісячної генерації СЕС та орієнтовного споживання будівлі. Пояснимо кожен стовпець окремо.

Стовпець «Генерація, кВт·год» — розраховано за питомою місячною інсоляцією для Київського регіону (база даних PVGIS Photovoltaic Geographical Information System, Європейська Комісія, Спільний дослідницький центр JRC, lat. 50.45°, lon. 30.52°, кут нахилу 35°, азимут 180°) і встановленою потужністю СЕС 28,1 кВт:

$$W_{\text{міс}} = P_{\text{СЕС}} \times H_{\text{міс}} \times \eta_{\text{сист}}$$

де $P_{\text{СЕС}} = 28,1$ кВт — встановлена потужність СЕС; $H_{\text{міс}}$ — питома місячна інсоляція для Київського регіону при нахилі 35°, кВт·год/(кВт·міс.) — взята з бази PVGIS (значення наведені нижче); $\eta_{\text{сист}} = 0,89$ — системний ККД (кабельні втрати 2% + втрати в інверторі 1,6% + запиленість 2% + температурний перегрів 3% + розузгодження стрінгів 1,5% + деградація 0,5%).

Значення питомої місячної інсоляції $H_{\text{міс}}$ для Київського регіону (кут нахилу 35°, орієнтація на південь) за даними PVGIS (JRC, 2024):

Таблиця 2.3

Питома місячна інсоляція для Києва (PVGis, нахил 35°, азимут 0°)

Місяць	$H_{\text{міс}}$, кВт·год/кВт	Місяць	$H_{\text{міс}}$, кВт·год/кВт	Місяць	$H_{\text{міс}}$, кВт·год/кВт
Січень	28,0	Травень	143,6	Вересень	95,2
Лютий	42,0	Червень	139,4	Жовтень	63,2

Березень	87,8	Липень	135,6	Листопад	33,4
Квітень	123,4	Серпень	123,0	Грудень	19,8
РАЗОМ (рік)				$\Sigma =$	1 034,4

Приклад розрахунку генерації за травень:

$$W_{\text{травень}} = 28,1 \times 143,6 \times 0,89 \approx 3592 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{міс.}$$

Приймаємо 3 600 кВт·год/міс

Стовпець «Споживання, кВт·год» — оцінюється на основі добового профілю навантаження (підрозділ 1.5) і тривалості робочого дня. Базове місячне споживання: середнє серед річного обсягу 48 000 кВт·год = 4 000 кВт·год/міс. Поправки: взимку +20-25% (довше освітлення + максимальне опалення = +800-1000 кВт·год); влітку -35-40% (канікули, не всі поверхи задіяні = -1400-1600 кВт·год).

2.5.2. Пояснення коефіцієнтів і вихідних даних

В роботі застосовано ряд нормативних і розрахункових коефіцієнтів. Нижче наведено їх джерела і обґрунтування.

Системний ККД $\eta_{\text{сист}} = 0,89$. Складається з окремих складових втрат, значення яких прийняті відповідно до:

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

— кабельні втрати DC (2%) — розрахунок за формулою $\Delta U = 2\rho lI/S$, наведений у підрозділі 3.1.4 (фактично 0,75%); 2% — нормативний запас за IEC TR 63202 — 1 для DC — ланцюгів CEC;

— втрати в інверторі (1,6%) — з паспортного ККД: $1 - 0,984 = 0,016 = 1,6\%$ (паспорт Growatt SPH 30000TL3 BH — UP);

— запиленість і забруднення панелей (2%) — прийнято за рекомендацією JRC (EU Joint Research Centre), PVGIS user manual, для регіонів з помірним кліматом без піщаних бур;

— температурний перегрів (3%) — розраховано з температурного коефіцієнта $\gamma = -0,35\%/^{\circ}\text{C}$ і середньої різниці між температурою комірки влітку (+45-50°C) і STC (25°C): $0,35\% \times 22^{\circ}\text{C} \approx 7,7\%$ у найгарячіший місяць, у середньому по рокові $\approx 3\%$;

— розузгодження стрінгів і тіньові ефекти (1,5%) — типові значення для систем без мікроінверторів і без суттєвого затінення, за рекомендацією PVOL (PV Output Loss) моделі NREL;

— деградація за перший рік (0,5%) — гарантований показник за специфікацією JA Solar: деградація $\leq 1\%$ за перший рік; прийнято 0,5% як середнє.

Коефіцієнт запасу $K_z = 1,25$ для розрахунку освітлення. Прийнято за таблицею 3 ДБН В.2.5 — 28:2018 «Природне і штучне освітлення» — для LED — джерел світла у приміщеннях без агресивного середовища. Фізичний зміст: враховує зниження світлового потоку LED — джерела протягом нормативного терміну між обслуговуванням (очищення, перевірка) і деградацію люмінофору.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт нерівномірності $z = 1,15$. Прийнято за таблицею Г.1 ДБН В.2.5 — 28:2018 для рівномірного загального освітлення при індексі приміщення $i > 1,0$ і відношенні кроку між приладами до висоти підвісу $L/h < 1,5$. Значення 1,15 є стандартним для косинусних розподільників (рівномірне розсіювання).

Коефіцієнти відбиття поверхонь. Прийнято за ДСТУ EN 12464 — 1:2016 і ДБН В.2.5 — 28:2018: стеля 0,70 — підвісна стеля типу Армстронг, панелі білого кольору (типове значення для нових плит 0,65-0,75); стіни 0,50 — оштукатурені і офарбовані в світлі тони (типовий діапазон 0,40-0,60); підлога 0,30 — ламінат середнього тону (типовий діапазон 0,20-0,40). Значення обрані на рівні центру діапазону — консервативний підхід для гарантованого виконання норм.

Питома теплова потужність $q = 80 \text{ Вт/м}^2$. Прийнято відповідно до ДБН В.2.5 — 67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» і ДСТУ — Н Б В.1.1 — 27:2010 «Будівельна кліматологія» для навчальних будівель у IV кліматичному районі (Київська область) при розрахунковій зовнішній температурі -21°C . Для цегляних будівель без утеплення $q = 75\text{-}90 \text{ Вт/м}^2$ — прийнято середнє значення 80 Вт/м^2 .

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

3.1. Розрахунок та підбір обладнання СЕС

3.1.1. Вибір та характеристики сонячних панелей

Для модернізованої СЕС обрано монокристалічні TOPCon — панелі JA Solar JAM72D40 — 625/MB. Коротко про виробника: JA Solar Technology Co., Ltd. — китайська компанія, заснована 2005 року, входить до топ — 5 виробників фотоелектричних модулів у світі з річним обсягом виробництва понад 70 ГВт (2024 рік). Компанія офіційно представлена в Україні через авторизованих дистриб'юторів і забезпечує гарантійний сервіс на всій території країни.

Модель JAM72D40 — 625/MB з лінійки DeepBlue 4.0 розроблена спеціально для комерційних і промислових об'єктів. Цифра 72 в назві означає 72 фотоелементи, D40 — серію, 625 — потужність у ватах. Буква М вказує на монокристалічний тип, В — на bifacial (двостороннє скло), хоча для нашого проєкту біфаціальна особливість не використовується — панелі кріпляться впритул до покрівлі і відбита знизу радіація незначна.

Технологія TOPCon в цих панелях реалізована так: на звичайну монокристалічну пластину n — типу нанесено ультратонкий (~1,5 нм) шар діоксиду кремнію SiO₂ методом термічного окиснення. Поверх оксиду — шар n⁺

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

легованого полікремнію товщиною 100-150 нм. Ця комбінація виконує роль «воронки» для електронів: вони можуть тунелювати через оксид і накопичуватись у полікремнієвому шарі, але не можуть «повернутись назад» — рекомбінація блокована. Практичний результат: ефективність 22,5% і вище при практично тій самій собівартості виробництва, що й PERC.

Розрахуємо загальну встановлену потужність:

$$P_{\text{сес}} = N \times P_{\text{max}} = 45 \times 625 = 28\,125 \text{ Вт} = 28,125 \text{ кВт} \approx 28,1 \text{ кВт}$$

де $N = 45$ — кількість панелей (обрана з урахуванням площі даху та структури стрінгів); $P_{\text{max}} = 625 \text{ Вт}$ — номінальна пікова потужність однієї панелі в умовах STC.

Таблиця 3.1

Технічні характеристики сонячної панелі JA Solar JAM72D40—625/MB (STC: 1000 Вт/м², 25°C, AM 1,5G)

Параметр	Значення
Пікова потужність (P_{max}), Вт	625
Допустиме відхилення від P_{max}	0 / +3 Вт (тільки позитивне)
Напруга максимальної потужності (V_{mp}), В	41,5
Струм максимальної потужності (I_{mp}), А	15,1
Напруга холостого ходу (V_{oc}), В	49,5
Струм короткого замикання (I_{sc}), А	16,2
ККД модуля, %	$\geq 22,5$
Температурний коефіцієнт потужності (γ), %/°C	-0,35
Температурний коефіцієнт V_{oc} (β), %/°C	-0,25

Параметр	Значення
Температурний коефіцієнт I_{sc} (α), %/°C	+0,05
Технологія	Монокристалічний TOPCon, 72 кл.
Клас захисту	IP68 (роз'єм MC4)
Максимальна системна напруга, В	1500 (МЕК) / 1000 (UL)
Маса панелі, кг	28,8
Гарантія продуктова / на потужність (80%), р.	12 / 30

3.1.2. Формування стрінгів та перевірка електричної сумісності

Схема підключення панелей — не технічна дрібниця: якщо напруга або струм стрінга виходять за паспортні межі інвертора, він або згорить, або просто не буде нормально працювати.

Обраний інвертор Growatt SPH 30000TL3 ВН—UP має три незалежні MPPT — треки. Ми рівномірно розподіляємо 45 панелей на три стрінги: $3 \times 15 = 45$. Кожен стрінг живить один MPPT — трекер. Такий розподіл дозволяє незалежно відслідковувати максимальну точку потужності кожного стрінга — наприклад, якщо одна секція даху тимчасово затемнена, інші продовжуватимуть працювати на оптимальному рівні.

Перевірка 1 — напруга в робочій точці (MPPT):

$$V_{\text{mp стрінга}} = n \times V_{\text{mp}} = 15 \times 41,5 = 622,5 \text{ В}$$

Діапазон MPPT інвертора Growatt SPH 30000TL3 ВН—UP — від 200 до 850 В. Отримане значення 622,5 В надійно знаходиться в середині цього діапазону, що забезпечує ефективне відслідковування максимальної точки потужності у всіх реальних умовах освітлення.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевірка 2 — максимальна напруга стрінга при низькій температурі (-10°C). Це найнебезпечніший режим для інвертора: при морозній ясній погоді V_{oc} зростає, і якщо виходить за межу 1000 В — інвертор виходить з ладу.

Розрахунок за формулою:

$$V_{oc}(T) = n \times V_{oc}(25^{\circ}\text{C}) \times [1 + (\beta/100) \times (T - 25)]$$

$$V_{oc}(-10^{\circ}\text{C}) = 15 \times 49,5 \times [1 + (-0,25/100) \times (-10 - 25)]$$

$$V_{oc}(-10^{\circ}\text{C}) = 742,5 \times [1 + 0,0025 \times 35] = 742,5 \times 1,0875 \approx 807,5 \text{ В}$$

$807,5 \text{ В} < 1000 \text{ В}$ (максимально допустима напруга DC) — умова виконана з запасом $\sim 19\%$.

Перевірка 3 — струм стрінга:

$$I_{sc \text{ стрінга}} = I_{sc} = 16,2 \text{ А} < 25 \text{ А (ліміт MPPT —трекера)}$$

$$I_{mp \text{ стрінга}} = I_{mp} = 15,1 \text{ А} < 25 \text{ А}$$

Усі три перевірки пройдені. Схема 3×15 панелей є електрично сумісною з обраним інвертором.

Потужність одного стрінга та всієї СЕС:

$$P_{\text{стрінга}} = n \times P_{\text{max}} = 15 \times 625 = 9\,375 \text{ Вт} = 9,375 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{СЕС}} = 3 \times P_{\text{стрінга}} = 3 \times 9\,375 = 28\,125 \text{ Вт} = 28,1 \text{ кВт}$$

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1.3. Підбір гібридного інвертора

Гібридний інвертор одночасно виконує функції MPPT — контролера (відслідковує максимальну точку потужності кожного стрінга), DC/AC перетворювача, контролера заряду акумуляторів, пристрою перемикання між режимами і системи захисту. Від правильного вибору інвертора залежить як ефективність, так і надійність усієї СЕС.

Для нашого проєкту обрано Growatt SPH 30000TL3 BH—UP потужністю 30 кВт. Чому саме 30 кВт при СЕС 28,1 кВт? Це стандартна практика: співвідношення $DC/AC = 28,1/30 = 0,937$, що знаходиться в рекомендованому діапазоні 0,9-1,2. Небагато «завищена» потужність AC дозволяє інвертору не перевантажуватись в пікові моменти максимальної генерації (рання весна, невелика хмарність з ефектом лінзи) і при цьому зберігати високий ефективний ККД.

Growatt — китайська компанія з 2010 року, один зі світових лідерів у виробництві сонячних інверторів. Лінійка SPH (Split Phase Hybrid) TL3 BH—UP — флагманська для комерційних трифазних систем з акумуляуванням. Серія BH—UP підтримує підключення акумуляторів Growatt ARK з напругою DC 48-60 В та можливістю нарощування ємності модульно.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічні характеристики інвертора Growatt SPH 30000TL3 ВН—UP

Параметр	Значення
Номінальна вихідна потужність АС, кВт	30
Кількість незалежних МРРТ—трекерів	3
Кількість DC—входів на МРРТ	2+2+2 (6 пар разом)
Максимальна вхідна напруга DC, В	1000
Діапазон напруги МРРТ, В	200-850
Максимальний вхідний струм на МРРТ, А	25 / 25 / 25
Вихідна напруга АС, В	3 × 220/380 (трифазна)
Номінальна частота, Гц	50
ККД СЕС (зважений), %	≥ 98,0
ККД максимальний, %	≥ 98,4
Час перемикання в режим EPS, мс	≤ 20
Потужність у режимі EPS, кВт	30
Рівень захисту корпусу	IP65 (зовнішня установка)
Температурний діапазон роботи, °C	-25 ... +60
Моніторинг і зв'язок	Wi—Fi вбудований, LAN, RS485, Modbus TCP
Гарантія, років	5 (продовжується до 10)

3.1.4. Розрахунок та вибір кабельної продукції

Кабельна мережа СЕС поділяється на дві принципово різні зони: DC — ланцюг (від панелей до інвертора) та АС — ланцюг (від інвертора до ГРЩ будівлі). Вимоги до них суттєво відрізняються.

DC — кабель. Для DC — ланцюга недостатньо звичайного кабелю — він має витримувати пряме сонячне випромінювання протягом 25-30 років без деградації ізоляції. Тому обов'язково застосовується спеціальний сонячний кабель типу PV1 — F з одинарною ізоляцією зі зшитого поліетилену (XLPE), стійкою до УФ — випромінювання і температур від -40 до $+90^{\circ}\text{C}$. Клас захисту — IP68 при використанні з роз'ємами MC4.

Вибираємо PV1 — F $1 \times 6 \text{ мм}^2$. Обґрунтування перерізу — перевірка за допустимим нагрівом і падінням напруги.

Розрахунковий струм стрінга (з коефіцієнтом 1,25 на нестационарні режими — ефект концентрації при часткових хмарах):

$$I_{\text{розр}} = I_{\text{sc}} \times 1,25 = 16,2 \times 1,25 = 20,25 \text{ А}$$

Допустимий тривалий струм кабелю PV1 — F $1 \times 6 \text{ мм}^2$ при прокладці відкрито на сонці ($t_{\text{навк}} = +40^{\circ}\text{C}$, поправочний коефіцієнт 0,91): $56 \times 0,91 \approx 51 \text{ А}$.

Коефіцієнт запасу за нагрівом: $51 / 20,25 = 2,52 > 1,25$

Перевірка за падінням напруги (приблизна довжина DC — траси від даху до інверторного приміщення 40 м, двопровідна схема):

$$\Delta U = 2 \times \rho_{\text{Cu}} \times L \times I / S = 2 \times 0,0175 \times 40 \times 20,25 / 6 \approx 4,73 \text{ В}$$

$$\Delta U, \% = 4,73 / 622,5 \times 100 \approx 0,76\% < 2\% \text{ (норма для DC — кола)}$$

Кабель PV1 — F $1 \times 6 \text{ мм}^2$ задовольняє всі вимоги.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

АС — кабель. Від виходу інвертора до ГРЩ прокладається трифазний кабель із заземленням. Вибираємо кабель ВВГнг — LS (в ПВХ ізоляції, не горить і не поширює горіння, низьке димовиділення) — це обов'язкова вимога для прокладки всередині будівлі.

Розрахунковий струм АС:

$$I_{AC} = P_{ном} / (\sqrt{3} \times U_{\phi} \times \cos\varphi) = 30\,000 / (1,732 \times 380 \times 0,99) \approx 46,1 \text{ А}$$

де $\cos\varphi = 0,99$ — коефіцієнт потужності інвертора (задається виробником на рівні $\geq 0,99$). При прокладці в трубі або кабельному каналі всередині будівлі (температура $+25^{\circ}\text{C}$) для ВВГнг — LS $5 \times 10 \text{ мм}^2$ допустимий тривалий струм 65 А.

Коефіцієнт запасу: $65 / 46,1 = 1,41 > 1,25$

Захист АС — кола: автоматичний вимикач 3Р 63 А тип С (захист від перевантаження і КЗ); ПЗВ 63 А / 300 мА (захист від витoku струму — промисловий тип). Обидва прилади встановлюються безпосередньо в ГРЩ на окремій групі.

Таблиця 3.3

Зведена специфікація гібридної СЕС 28,1 кВт

Параметр	Значення
Загальна встановлена потужність, кВт	28,125 ($\approx 28,1$)
Тип та кількість панелей	JA Solar JAM72D40—625/MB, 45 шт.
Структура підключення	3 стрінги $\times$ 15 панелей послідовно
Тип системи	Гібридна (on — grid + off — grid з

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Параметр	Значення
	EPS)
Інвертор	Growatt SPH 30000TL3 BH—UP, 30 кВт
Кабель DC	PV1—F 1×6 мм ² , ≈ 200 пог.м.
Кабель AC	BBГнг—LS 5×10 мм ² , ≈ 40 пог.м.
Захист DC	String combiner box, роз'єднувачі, SPD кл. II
Захист AC	AB 3P 63 A тип C + ПЗВ 63 A/300 мА
Очікувана річна генерація, кВт·год	≈ 28 000

3.3. Розрахунок системи штучного освітлення

3.3.1. Нормативні вимоги та методика розрахунку

Система штучного освітлення розраховується відповідно до ДБН В.2.5 — 28:2018 «Природне і штучне освітлення». Цей документ встановлює мінімальні нормовані рівні освітленості для різних типів приміщень, вимоги до якісних показників освітлення (рівномірність, обмеження засліплення, колірна температура, індекс кольоропередачі) і методи розрахунку.

Метод коефіцієнта використання світлового потоку (застосовується для рівномірного загального освітлення) дозволяє визначити кількість світильників, необхідних для забезпечення нормованої горизонтальної освітленості в розрахунковій площині (висота 0,8 м від підлоги для робочих місць, підлога — для коридорів і сходів). Метод враховує не лише прямий потік від джерела, але і

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відбиті від стін, стелі та підлоги складові — через коефіцієнт використання η , що залежить від геометрії приміщення і коефіцієнтів відбиття поверхонь.

Нормовані рівні освітленості для приміщень навчального корпусу прийняті за таблицею А.1 ДБН В.2.5—28:2018:

— навчальні аудиторії: $E_n = 300$ лк, $CRI \geq 80$, колірна температура CCT 3000-5000 К;

— комп'ютерні класи і кабінети: $E_n = 300$ лк;

— лабораторії: $E_n = 300$ лк (з можливістю підвищення до 500 лк для точних робіт

— на перспективу);

— коридори, вестибюлі, холи: $E_n = 100$ лк;

— сходові клітки: $E_n = 50$ лк;

— санітарні вузли: $E_n = 100$ лк.

3.3.2. Вибір типу освітлювального приладу

Для навчального корпусу ключові вимоги: рівномірне розсіювання без блиску (щоб не засліплювати), низький коефіцієнт пульсацій (менше 5% — вимога ДБН для навчальних приміщень), висока надійність, відповідність формату підвісної стелі Армстронг.

Обрано LED — панель $595 \times 595 \times 8$ мм, потужність 40 Вт, виконання для встановлення у клітку підвісної стелі Армстронг 600×600 мм. Характеристики: світловий потік — 4000 лм; ефективність — 100 лм/Вт; колірна температура — 4000 К (нейтральний білий — найкращий вибір для навчальних і лабораторних

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приміщень: не такий «теплий», як 3000 К в домашньому інтер'єрі, і не такий «холодний», як 6500 К); $CRI = 82 \geq 80$ (норма); коефіцієнт пульсацій $\leq 5\%$ (норма для навчальних приміщень); кут розсіювання — 120° ; ресурс — $\geq 50\,000$ год (при 2500 год/рік — понад 20 років без заміни).

3.3.3. Вихідні дані для розрахунку

Таблиця 3.8

Вихідні дані для розрахунку освітлення

Параметр	Значення
Тип освітлювального приладу	LED—панель 595×595 мм, 40 Вт
Світловий потік одного приладу Φ_1 , лм	4000
Розрахункова висота підвісу h_p (від підлоги до стелі мінус 0,8 м роб. пов.), м	2,8
Коефіцієнт запасу для LED K_z	1,25
Коефіцієнт нерівномірності освітлення z	1,15
Коефіцієнт відбиття стелі ρ_c	0,70 (підвісна стеля, біла)
Коефіцієнт відбиття стін $\rho_{ст}$	0,50 (оштукатурені, крем/бежевий)
Коефіцієнт відбиття підлоги ρ_p	0,30 (лінолеум сірий)

3.3.4. Методика та приклад детального розрахунку

Весь розрахунок базується на трьох послідовних кроках: визначення індексу приміщення $\Rightarrow$ визначення коефіцієнта використання за таблицями $\Rightarrow$ визначення кількості світильників. Розглянемо детально на прикладі найбільш

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

задіяного типу приміщення — навчальна аудиторія на 40-45 студентів розміром $9 \times 8 \text{ м} = 72 \text{ м}^2$.

1. Індекс приміщення (характеризує відношення площі до периметру з урахуванням висоти):

$$i = (a \times b) / [h_p \times (a + b)] = (9 \times 8) / [2,8 \times (9 + 8)] = 72 / 47,6 \approx 1,51$$

2. Коефіцієнт використання η . За таблицями ДБН В.2.5 — 28:2018 (Додаток Д) для панельного світильника з кутом 120° , при $i = 1,5$ і коефіцієнтах відбиття 70/50/30: $\eta = 0,65$. Фізичний зміст: 65% світлового потоку від приладів досягає розрахункової горизонтальної площини, решта 35% поглинається поверхнями приміщення.

3. Необхідна кількість приладів:

$$N = (E_n \times S \times K_z \times z) / (\Phi_1 \times \eta)$$

$$N = (300 \times 72 \times 1,25 \times 1,15) / (4000 \times 0,65)$$

$$N = 31\,050 / 2600 \approx 11,94 \Rightarrow \text{приймаємо 12 приладів}$$

Розміщення: 2 ряди по 6 приладів — логічна симетрична сітка. Крок між рядами: $8/2 = 4 \text{ м}$, між приладами в ряду: $9/6 = 1,5 \text{ м}$. Перевірка рівномірності за відношенням кроку до висоти: $1,5 \text{ м} / 2,8 \text{ м} = 0,54 \leq 1,5$ (норма для косинусних приладів)

4. Перевірка фактичної освітленості:

$$E_{\text{факт}} = (N \times \Phi_1 \times \eta) / (S \times K_z \times z) = (12 \times 4000 \times 0,65) / (72 \times 1,25 \times 1,15)$$

$$E_{\text{факт}} = 31\,200 / 103,5 \approx 301 \text{ лк} \geq 300 \text{ лк}$$

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок для інших приміщень виконується аналогічно. Для коридорів і сходів — з відповідними нормативними рівнями освітленості (100 і 50 лк), що дає значно меншу кількість приладів і меншу питому потужність.

3.3.5. Зведені результати по поверхах

Таблиця 3.9

Зведений результат розрахунку освітлення по поверхах

Поверх / зона	Площа S, м²	К—сть N, шт	Потужність, Вт	Вт/м²
1 — й поверх (аудиторії, адмін.)	773,6	109	4 360	5,6
2 — й поверх (лабораторії)	728,4	106	4 240	5,8
3 — й поверх (аудиторії, кафедри)	733,8	109	4 360	5,9
РАЗОМ по будівлі	2 235,8	324	12 960	5,8

Загальна встановлена потужність системи освітлення після модернізації — 12 960 Вт (12,96 кВт). Стара система (432 люмінесцентні лампи в діапазоні 35-72 Вт, в середньому ~70 Вт) споживала близько 30 000 Вт = 30 кВт. Економія по встановленій потужності: $30\,000 - 12\,960 = 17\,200\text{ Вт} = 57\%$.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4. Конструктивне виконання та монтаж СЕС

Монтаж фотоелектричної системи складається з кількох послідовних етапів: підготовка покрівлі, монтаж несучих конструкцій, установка панелей, прокладка DC — кабелів, монтаж інвертора в приміщенні, прокладка AC — кабелю, підключення до ГРЩ.

Несучі конструкції. Для монтажу на скатному даху з металочерепицею під нахилом 35° застосовується безпрофільна система кріплення ФЕМ. Алюмінієві опорні блоки кріпляться безпосередньо до крокв або суцільної обрешітки покрівельними шурупами $\varnothing 8 \times 80$ мм (нержавіюча сталь А2) з EPDM — ущільнювачами. Місця пробивання металочерепиці обробляються герметиком на основі поліуретану. Вітрове навантаження на систему при швидкості вітру 25 м/с та нахилі 35° не перевищує 55 кг/м^2 (розраховано за ДБН В.1.2 — 2:2006) — безпрофільна система витримує це навантаження завдяки жорсткому механічному кріпленню до несучих елементів покрівлі.

Розміщення панелей. Всього 45 панелей розміщуються у 3 ряди по 15 панелей. Панелі в кожному ряду орієнтовані горизонтально (landscape) для зменшення висоти і, відповідно, вітрового навантаження. Кожен ряд відповідає одному стрінгу. Між рядами — відстань 0,6 м (мінімальний прохід для обслуговування). Завдяки нахилу 35° самозатінення між рядами відсутнє — всі панелі розміщуються в одній похилій площині даху.

Прокладка кабелів. DC — кабелі від панелей кожного стрінга збираються у string combiner box, встановленому безпосередньо на покрівлі в захисному корпусі

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

IP66. Звідти зведений кабель прокладається по кабельному лотку уздовж парапету, потім через гільзу в покрівлі (з герметизацією!) спускається до приміщення інвертора. Загальна довжина DC — кабелів: кожен стрінг — близько 50-60 м в одну сторону, разом — $120-130 \text{ м} \times 2$ (позитивний і негативний) $\approx 250-260 \text{ м}$. Приймаємо 200 пог.м. у специфікації як середньозважене.

Встановлення інвертора. Growatt SPH 30000TL3 ВН — UP встановлюється у закритому приміщенні (коридор першого поверху або технічний відсік) на стіні через штатні монтажні кронштейни. Вимоги до приміщення: температура не вище $+45^{\circ}\text{C}$, відносна вологість до 95%, вільний простір для конвекційного охолодження (не менше 30 см зверху і знизу)

3.5. Система захисту і заземлення

Захист фотоелектричної системи будується за принципом багаторівневого захисту: захист кожного стрінга окремо $\Rightarrow$ захист DC — шини $\Rightarrow$ захист AC — кола $\Rightarrow$ захист від перенапруг і блискавок. Всі засоби захисту відповідають вимогам ПУЕ і стандарту IEC 62109—2.

Роз'єднувачі стрінгів. У string combiner box для кожного стрінга встановлено DC — роз'єднувач на 25 А / 1000 В. Він дозволяє відключити будь — який стрінг для технічного обслуговування без зупинки решти системи. Роз'єднувачі мають механічне блокування у відключеному положенні.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Запобіжники стрінгів. У string combiner box також встановлено запобіжники на 20 А / 1000 В для кожного позитивного провідника. Вони захищають DC — кабелі від зворотних струмів при несправності одного зі стрінгів.

Обмежувачі перенапруг (SPD). Для захисту від атмосферних перенапруг (попадання блискавки в мережу або поблизу об'єкта) встановлюються SPD (Surge Protective Device) класу II: у string combiner box — для DC — сторони ($U_p \leq 2,5$ кВ для DC 1000 В); у ГРЩ — для AC — сторони ($U_p \leq 1,5$ кВ для AC 400 В).

Заземлення. Металева рама кожної панелі, алюмінієві профілі несучої конструкції, корпус string combiner box і корпус інвертора з'єднуються між собою мідним провідником РЕ перерізом 6 мм² і підключаються до контуру заземлення будівлі. Опір контуру заземлення повинен бути не більше 4 Ом (відповідно до ПУЕ). Існуючий контур заземлення будівлі перевіряється вимірюванням перед підключенням.

Захист від дугового пробою. Інвертор Growatt SPH 30000TL3 ВН — UP оснащений функцією AFCI (Arc Fault Circuit Interrupter) — виявлення дугового пробою в DC — ланцюгу. При виникненні дуги (наприклад, через пошкоджену ізоляцію кабелю) інвертор автоматично відключає несправний стрінг і сигналізує про несправність.

Нижче наведено розрахунок та перевірку умов вибору кожного апарату захисту.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок та вибір DC-роз'єднувачів стрінгів.

Умовою вибору DC-роз'єднувача за струмом є виконання нерівності (IEC 62109-2): номінальний струм апарату не менше 1,25 від струму короткого замикання стрінга. Коефіцієнт 1,25 враховує можливе зростання струму при відображеній радіації (ефект лінзи):

$$I_{роз} \geq 1,25 \times I_{sc} = 1,25 \times 16,2 = 20,25 \text{ A.}$$

Умовою вибору за напругою:

$$U_{роз} \geq U_{max \text{ DC інвертора}} = 1\,000 \text{ В.}$$

Найближча стандартна номінальна величина за ГОСТ 2933-83 і IEC 60947-3 — 25 А. Приймаємо DC-роз'єднувач 25 А / 1 000 В з механічним блокуванням у відключеному положенні. Встановлюється у string combiner box (IP66) на покрівлі, по одному на кожен стрінг. Кількість: 3 шт.

Таблиця 3.4 — Перевірка умов вибору DC-роз'єднувача

Розрахунок та вибір запобіжників стрінгів (тип gPV).

Плавкі запобіжники серії gPV призначені спеціально для DC-ланцюгів фотоелектричних систем (IEC 60269-6). Встановлюються на позитивний

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

провідник кожного стрінга. Захищають кабелі від надструмів при зворотному протіканні і КЗ у стрінгу.

Нижня межа номінального струму — не менше $1,25 \times I_{sc}$:

$$I_{zan} \geq 1,25 \times I_{sc} = 1,25 \times 16,2 = 20,25 \text{ A.}$$

Верхня межа — не більше допустимого тривалого струму DC-кабелю PV1-F $1 \times 6 \text{ мм}^2$, поділеного на 1,25 (щоб не перевищувати теплову стійкість ізоляції кабелю). Допустимий тривалий струм кабелю PV1-F $1 \times 6 \text{ мм}^2$ при прокладці відкрито на сонці ($t_{навк} = +40^\circ\text{C}$, поправочний коефіцієнт 0,91): $I_{доп} = 56 \times 0,91 \approx 51 \text{ A}$:

$$I_{zan} \leq I_{доп} / 1,25 = 51 / 1,25 = 40,8 \text{ A.}$$

Обидві умови виконуються при номінальному струмі 20 А. Приймаємо запобіжники gPV 20 А / 1 000 В. Кількість: 3 шт.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевірка умов вибору запобіжника стрінга gPV

Умова вибору	Розрахункове значення	Прийнятий апарат
$I_{ном} \geq 1,25 \times I_{sc}$	20,25 А	20 А / 1 000 В
$I_{ном} \leq I_{доп} / 1,25$	40,8 А	$20 \text{ А} \leq 40,8 \text{ А}$

Розрахунок номінального струму АС-ланцюга.

Від виходу гібридного інвертора Growatt SPH 30000TL3 ВН-UP до ГРЩ будівлі прокладається трифазний кабель ВВГнг-LS 5×10 мм². Номінальний струм АС-ланцюга визначається з паспортної потужності інвертора:

$$I_{AC} = P_{ном} / (\sqrt{3} \times U_{л} \times \cos\varphi) = 30\,000 / (1,732 \times 380 \times 0,99) \approx 46,1 \text{ А},$$

де $\cos\varphi = 0,99$ — гарантований коефіцієнт потужності інвертора (за паспортними даними Growatt SPH 30000TL3 ВН-UP).

Розрахунок та вибір автоматичного вимикача АС-ланцюга.

Автоматичний вимикач (АВ) встановлюється в ГРЩ на окремій групі «Вихід інвертора» і виконує захист від перевантаження та токів КЗ у АС-ланцюгу.

Умова вибору за номінальним струмом:

$$I_{ном АВ} \geq I_{AC} = 46,1 \text{ А} \rightarrow \text{приймаємо } I_{ном} = 63 \text{ А}.$$

Перевірка за допустимим струмом кабелю:

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

$$I_{\text{ном АВ}} \leq I_{\text{доп кабелю}} = 65 \text{ А} \rightarrow 63 \text{ А} \leq 65 \text{ А} .$$

Вибір характеристики С обумовлений типом навантаження (інвертор):
 помірні пускові струми, діапазон миттєвого відключення $5-10 \times I_{\text{ном}} = 315-630$
 А. Стійкість до КЗ: $I_{\text{сп}} \geq 10 \text{ кА}$ — відповідно до ПУЕ п. 3.1.8 для ГРЩ будівлі.
 Приймаємо АВ ЗР 63 А тип С, $I_{\text{сп}} = 10 \text{ кА}$. Кількість: 1 шт.

Таблиця 3.6

Перевірка умов вибору автоматичного вимикача ЗР 63 А тип С

Умова вибору	Розрахункове значення	Прийнятий апарат
$I_{\text{ном АВ}} \geq I_{\text{АС}}$	46,1 А	63 А
$I_{\text{ном АВ}} \leq I_{\text{доп кабелю}}$	$63 \text{ А} \leq 65 \text{ А}$	$63 \text{ А} \leq 65 \text{ А}$
$I_{\text{сп}} \geq 10 \text{ кА}$ (ПУЕ п. 3.1.8)	—	$I_{\text{сп}} = 10 \text{ кА}$

Розрахунок та вибір ПЗВ.

ПЗВ (пристрій захисного відключення) встановлюється послідовно з АВ у ГРЩ. Виконує захист від струмів витоку на землю в АС-ланцюгу інвертора (захист від пожежі та ураження електричним струмом обслуговувального персоналу).

Умови вибору:

$$I_{\text{ном ПЗВ}} \geq I_{\text{ном АВ}} = 63 \text{ А} \rightarrow \text{приймаємо } I_{\text{ном}} = 63 \text{ А};$$

$I_{\Delta n} = 300 \text{ мА}$ — промисловий тип (захист від пожежі, ДСТУ EN 61008).

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тип АС — для синусоїдальних струмів витоку (характерних для виходу інвертора при роботі з мережею TN-C-S). Виконання 4Р для трифазного підключення з нейтральним провідником. Приймаємо ПЗВ 4Р 63 А / 300 мА тип АС, промисловий. Кількість: 1 шт.

Розрахунок та вибір обмежувачів перенапруг (SPD).

SPD класу II для DC-сторони встановлюються у string combiner box між DC-шиною і провідником РЕ. Захищають від атмосферних перенапруг, що виникають при ударі блискавки поблизу об'єкта.

Умова вибору для DC (IEC 61643-31):

$$U_c \geq 1,2 \times V_{oc \text{ стрінга}} = 1,2 \times 742,5 = 891 \text{ В} \rightarrow \text{приймаємо } U_c = 1\,000 \text{ В};$$

$$U_p \leq 2,5 \text{ кВ.}$$

SPD класу II для АС-сторони встановлюються у ГРЩ між фазними провідниками і шиною РЕ. Захищають від перенапруг, що надходять з боку розподільчої мережі.

Умова вибору для АС (IEC 61643-11):

$$U_c \geq 1,1 \times U_\phi = 1,1 \times 230 = 253 \text{ В} \rightarrow \text{вибираємо } U_c = 275 \text{ В};$$

$$U_p \leq 1,5 \text{ кВ};$$

$$I_{\text{макс}} \geq 40 \text{ кА.}$$

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зведена перевірка умов вибору апаратів захисту СЕС

Апарат	Умова вибору	Розрахункове / прийняте	Результат
DC-роз'єднувач 25 А / 1 000 В	$I_{ном} \geq 1,25 \times I_{sc}$	20,25 А / 25 А	Виконується
DC-роз'єднувач 25 А / 1 000 В	$U_{ном} \geq U_{max DC}$	1 000 В / 1 000 В	Виконується
Запобіжник gPV 20 А / 1 000 В	$I_{ном} \geq 1,25 \times I_{sc}$	20,25 А / 20 А	Виконується
Запобіжник gPV 20 А / 1 000 В	$I_{ном} \leq I_{доп} / 1,25$	20 А $\leq$ 40,8 А	Виконується
АВ 3Р 63 А тип С	$I_{ном АВ} \geq I_{AC}$	46,1 А / 63 А	Виконується
АВ 3Р 63 А тип С	$I_{ном АВ} \leq I_{доп}$ кабелю	63 А $\leq$ 65 А	Виконується
ПЗВ 4Р 63 А / 300 мА	$I_{ном ПЗВ} \geq I_{ном АВ}$	63 А / 63 А	Виконується
SPD DC кл. II	$U_c \geq 1,2 \times V_{oc стр.}$	891 В / 1 000 В	Виконується
SPD AC кл. II	$U_c \geq 1,1 \times U_{ф}$	253 В / 275 В	Виконується

Таким чином, для гібридної СЕС потужністю 28,1 кВт підібрані та перевірені всі апарати захисту DC- та AC-ланцюгів відповідно до вимог ПУЕ, ДСТУ EN та стандартів МЕК. Умови вибору за напругою, струмом та стійкістю до КЗ виконані з нормативним запасом. Схема захисту забезпечує надійний захист обладнання СЕС від перевантажень, КЗ, атмосферних перенапруг та струмів витоку протягом усього терміну експлуатації системи.

3.6. Монтаж та підключення LED—системи освітлення

Монтаж LED—освітлення є менш технічно складним, але важливим з точки зору організації робіт. Будівля функціонує під час навчального процесу, тому монтаж має виконуватися поповерхово в канікулярний або вечірній час, щоб не переривати заняття.

Послідовність робіт: демонтаж люмінесцентних арматур з підвісних стель Армстронг; перевірка і ревізія живильних проводок (заміна при необхідності); встановлення LED—панелей у комірки стелі; підключення до існуючих групових ліній освітлення; перевірка і вимірювання рівнів освітленості після монтажу, порівняння з розрахунковими значеннями; оформлення акту прийняття в експлуатацію.

LED—панелі підключаються до існуючої проводки через нейтраль і фазу — без змін у групових лініях і автоматах (оскільки потужність знижується і запас автоматів збільшується). Єдина зміна в щиті — можливе встановлення регуляторів яскравості (диммерів) у ряді приміщень, де це необхідно за завданням кафедри.

Після завершення монтажу і введення в дію виконується вимірювання фактичного рівня освітленості люксометром не менш ніж у 5 контрольних точках кожного приміщення відповідно до ДСТУ EN 12464 — 1 (метод 9 — точкового вимірювання для прямокутного приміщення). Результати порівнюються з розрахунковими і нормативними значеннями. Усі відхилення від норми підлягають аналізу і, за необхідності, коригуванню розміщення приладів.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.7. Розрахунок параметрів для приміщень різного призначення

Оскільки будівля містить приміщення різного функціонального призначення, деякі з них мають специфічні вимоги до освітлення. Розглянемо розрахунок для кількох характерних типів приміщень, що відрізняються від стандартної аудиторії.

3.7.1. Комп'ютерний клас

Комп'ютерний клас розміром 8×6 м ($S = 48$ м²). Особливість — наявність моніторів, що створюють додаткове освітлення і підвищують ризик відблисків. Згідно з ДБН В.2.5 — 28:2018 і ДСТУ EN 12464 — 1, для приміщень з відеотерміналами рекомендується освітленість 300-500 лк при обмеженні яскравості і відблисків. Нормована освітленість $E_n = 300$ лк. Враховуємо знижений коефіцієнт нерівномірності $z = 1,10$ (більш рівномірне освітлення через розміщення моніторів).

$$i = (8 \times 6) / [2,8 \times (8 + 6)] = 48 / 39,2 \approx 1,22$$

$$\text{При } i = 1,22 \text{ і } \rho_{\text{ст}}/\rho_{\text{п}} = 70/50/30: \eta = 0,60.$$

$$N = (E_n \times S \times K_z \times z) / (\Phi_1 \times \eta) = (300 \times 48 \times 1,25 \times 1,10) / (4000 \times 0,60) = 19\,800 / 2400 \approx 8,25 \Rightarrow 8 \text{ шт.}$$

$$E_{\text{факт}} = (8 \times 4000 \times 0,60) / (48 \times 1,25 \times 1,10) = 19\,200 / 66 \approx 291 \text{ лк}$$

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

291 лк < 300 лк — трохи нижче норми. Збільшуємо до 9 шт.:

$$E_{\text{факт}} = (9 \times 4000 \times 0,60) / 66 = 21\,600 / 66 \approx 327 \text{ лк} \geq 300 \text{ лк}$$

Приймаємо 9 світильників у комп'ютерному класі 8×6 м. Їх слід розмістити так, щоб вісь рядів світильників була паралельна до екранів моніторів — це мінімізує відблиски.

3.7.2. Лабораторія електрообладнання

Лабораторія розміром 9 × 6 м ($S = 54 \text{ м}^2$). Висота стелі — 3,0 м (через габарити лабораторних стендів і підйомного обладнання). Розрахункова висота підвісу збільшується: $h_p = 3,0 - 0,8 = 2,2 \text{ м}$. Нормована освітленість для виробничих лабораторій — $E_n = 300 \text{ лк}$ (навчальна функція).

$$i = (9 \times 6) / [2,2 \times (9 + 6)] = 54 / 33 \approx 1,70$$

При $i = 1,70$ і $\rho_{\text{ст}}/\rho_{\text{п}} = 70/50/30$: $\eta = 0,67$.

$$N = (300 \times 54 \times 1,25 \times 1,15) / (4000 \times 0,67) = 25\,312 / 2680 \approx 9,4 \Rightarrow 10 \text{ шт.}$$

$$E_{\text{факт}} = (10 \times 4000 \times 0,67) / (54 \times 1,25 \times 1,15) = 26\,800 / 77,6 \approx 345 \text{ лк} \geq 300 \text{ лк}$$

10 світильників у лабораторії 12×10 м. Розміщення: 2 ряди × 5 світильників. Крок у ряду $10/5 = 2,0 \text{ м}$, між рядами $12/4 = 3,0 \text{ м}$.

3.7.3. Коридор

Типовий коридор ширина 2,8 м, довжина 55 м ($S = 154 \text{ м}^2$). Нормована освітленість $E_n = 100 \text{ лк}$. Коридор вузький, тому індекс приміщення малий.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$i = (55 \times 2,8) / [2,8 \times (55 + 2,8)] = 154 / 161,84 \approx 0,95$$

При $i = 0,95$ і $\rho_{\text{ст}}/\rho_{\text{п}} = 70/50/30$: $\eta \approx 0,50$.

$$N = (154 \times 100 \times 1,25 \times 1,15) / (4000 \times 0,50) = 24\,062 / 2000 \approx 12 \Rightarrow 12 \text{ шт.}$$

12 світильників по коридору з кроком 4,5 м. Це значно менше, ніж в аудиторіях, що знижує питому потужність у коридорах до 3,2 Вт/м² — нижче, ніж у навчальних приміщеннях (5,6-6,0 Вт/м²).

3.8. Повна специфікація проекту — зведена таблиця обладнання

Таблиця 3.10

Повна специфікація обладнання проекту модернізації

№	Найменування обладнання	К—сть	Технічна характеристика	Стандарт/ДСТУ
1	Фотоелектрична панель JA Solar JAM72D40—625/MB	45 шт.	625 Вт, TOPCon, $\geq 22,5\%$, IP68	IEC 61215
2	Гібридний інвертор Growatt SPH 30000TL3 BH—UP	1 шт.	30 кВт, 3 MPPT, EPS ≤ 20 мс, IP65	IEC 62109—1
3	Кабель сонячний PV1—F 1×6 мм ²	200 пм	900 В, $-40...+90^{\circ}\text{C}$, UV—стійкий	IEC 62930
4	Кабель ВВГнг—LS 5×10 мм ²	40 пм	0,6/1 кВ, XLPE, FR—LSF	ДСТУ 4743
5	String combiner box DC, 3×2 вх., IP66	1 шт.	1000 В, із роз'єднувачами і SPD	IEC 62109
6	Обмежувач перенапруг AC SPD кл. II	1 компл.	Un=400 В, Up $\leq 1,5$ кВ, Imax=40 кА	IEC 61643—11
7	Автомат захисний 3P 63 А тип С	1 шт.	380 В, Icn=10 кА	ДСТУ EN 60947—2

№	Найменування обладнання	К—сть	Технічна характеристика	Стандарт/ДСТУ
8	ПЗВ 63 А / 300 мА тип АС	1 шт.	230/400 В, тип АС промисловий	ДСТУ EN 61008
9	Безпрофільна система кріплення ФЕМ	45 компл.	Алюміній АД31, нержавіюча сталь А2, для металочерепиці	—
10	Насос підвищення тиску Grundfos CM5—5	1 шт.	Q=10 м³/год, Н=8 м, N=1,1 кВт, IP44	EN 809
11	Запірна арматура для насосу	1 компл.	Муфти роз'єднувальні DN 25, сталь	—
12	LED—панель 595×595 мм, 40 Вт	320 шт.	4000 лм, 4000 К, CRI≥82, IP40	EN 60598

РОЗДІЛ 4

СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

4.1. Аналіз режимів роботи гібридної СЕС

Одна з принципових переваг гібридної СЕС над простою мережевою — здатність адаптуватися до різних умов: різного рівня генерації вдень, зміни навантаження, наявності або відсутності зовнішньої мережі. Розглянемо детально, як саме поводить себе система в кожному характерному режимі.

4.1.1. Режим «Сонячний день, генерація перевищує навантаження»

Цей режим типовий для травня — серпня у ясний день між 9:00 і 16:00, коли СЕС генерує 20-28 кВт, а реальне навантаження будівлі (з коефіцієнтом попиту) складає 15-20 кВт. Алгоритм роботи інвертора такий: вся генерація від СЕС спрямовується на навантаження — освітлення, комп'ютери, насос. Надлишок потужності надходить на заряд акумуляторного банку. Якщо акумулятори вже заряджені до 100%, залишок передається у мережу через двонаправлений лічильник.

У цьому режимі споживання з мережі дорівнює нулю. Рахунок за електрику за цей час буде нульовим або навіть від'ємним (при нетбілінгу). Інвертор Growatt SPH 30000TL3 автоматично відслідковує баланс і перемикає потоки без участі оператора.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.1.2. Режим «Хмарний день або перехідний час доби»

Вранці (до ~9:00) і ввечері (після ~17:00) СЕС генерує значно менше, ніж при прямому сонці. В хмарний день дифузне випромінювання дає 10-40% від максимальної потужності. Інвертор вирівнює різницю: направляє всю генерацію на навантаження і добирає бракуючу потужність, або з акумуляторів, або з мережі.

Пріоритет між акумуляторами і мережею задається налаштуванням через ShineServer. Якщо SOC акумуляторів $> 50\%$ — брати з АКБ; якщо SOC $< 50\%$ — брати з мережі. Це дозволяє зберегти акумуляторний заряд для нічних відключень.

4.1.3. Нічний режим

Після заходу сонця генерація СЕС припиняється повністю. Навантаження живиться: спочатку — від акумуляторів (поки $SOC > SOC_{min}$); потім — від мережі. SOC_{min} зазвичай встановлюється на рівні 20-30% — нижче цього рівня глибокий розряд скорочує ресурс Li — ion акумуляторів з 6000+ до 2000-3000 циклів. При $SOC = SOC_{min}$ інвертор автоматично переключається на мережу і одночасно припиняє подальший розряд АКБ.

Вранці, коли сонце починає генерувати, інвертор знову перемикається на живлення від СЕС і починає заряд акумуляторів — цикл повторюється. Весь процес повністю автоматичний і не потребує жодного втручання персоналу.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.1.4. Аварійний режим EPS (Emergency Power Supply)

Головна причина, вибору гібридної, а не простої мережевої системи. При зникненні напруги в мережі (розрив, аварія на КТП, планове відключення) інвертор фіксує подію за 5-10 мс і за наступні 10-15 мс перемикає всіх споживачів на автономне живлення від СЕС + АКБ. Загальний час переключення — не більше 20 мс, що є непомітним для більшості обладнання (комп'ютери, прилади, освітлення тривають без перебоїв).

У режимі EPS інвертор формує власну трифазну напругу 380 В / 50 Гц незалежно від мережі. Потужність в цьому режимі — до 30 кВт (повна номінальна потужність). При наявності сонця вдень — система живить навантаження від панелей і заряджає акумулятори одночасно. Вночі або при похмурій погоді — тільки від акумуляторів.

При відновленні мережевого живлення інвертор виконує синхронізацію (перевірка частоти і фази) і плавно переключається назад на мережевий режим — знову непомітно для навантаження.

4.2. Система моніторингу, управління та інтеграції

Сучасна СЕС — це не просто «генератор, що стоїть на даху». Це інтелектуальна енергетична система, ефективність якої певною мірою залежить від якості моніторингу і керування. Інвертор Growatt SPH 30000TL3 ВН — UP підтримує кілька рівнів моніторингу і управління.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рівень 1 — локальний дисплей і кнопки на корпусі. Дозволяє бачити поточні параметри і змінювати базові налаштування безпосередньо у приміщенні де встановлений інвертор. Зручний для щоденного контролю.

Рівень 2 — хмарна платформа Growatt ShineServer. Інвертор підключається до інтернету через вбудований Wi-Fi (або через патч-корд LAN) і автоматично передає дані на сервери Growatt. Через веб-браузер або мобільний додаток ShinePhone адміністратор університету бачитиме:

- поточну генерацію СЕС (кВт) і накопичений виробіток за добу / місяць / рік (кВт·год);
- поточне споживання навантаження будівлі і баланс з мережею;
- стан акумуляторів: SOC (%), напруга, струм, температура;
- температуру інвертора і статус захисних функцій;
- журнал подій: відключення мережі, спрацьовування захистів, зміна режимів.

Рівень 3 — промислова інтеграція через RS485 / Modbus TCP. Університет планує впровадити SCADA — систему для моніторингу всіх інженерних систем кампусу, інвертор може бути включений до неї як один зі складових об'єктів. Це дозволить будувати комплексні алгоритми управління: наприклад, знижувати потужність освітлення при переході в режим EPS (щоб збільшити автономність АКБ), або автоматично вимикати несуттєве навантаження при низькому SOC.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3. Детальне порівняння технологій PERC та TOPCon

У розділі 1 було коротко розглянуто технологічний ландшафт фотоелектричної галузі та обрано TOPCon. Розглянемо це детальніше — з конкретними числами, що обґрунтовують вибір.

Таблиця 4.1

Детальне порівняння технологій PERC та TOPCon

Параметр	PERC	TOPCon
Ефективність, %	20-21	22,5-23,5
Температурний коефіцієнт $P_{\max}$, %/°C	-0,37	-0,35
Деградація за 1-й рік, %	2,0	$\leq 1,0$
Щорічна деградація (2-30 рік), %	0,55	$\leq 0,40$
Збережена потужність через 25 р. від $P_{\max}$, %	$\geq 82,5$	$\geq 87,4$
Поведінка при слабкому освітленні (50-200 Вт/м²)	Добра	Відмінна (+3-5%)
Відносна вартість (ринок 2025 р.)	1,0 (база)	1,05-1,10
Додаткова генерація за 25 р. (відносно)	—	+8-12%

Для кількісної оцінки: якщо у першій колонці взяти систему PERC 28,1 кВт і TOPCon 28,1 кВт — через 25 років перша збереже 82,5% потужності = 23,2 кВт, друга — 87,4% = 24,6 кВт. При однаковій інсоляції TOPCon генерує щороку на 6% більше. За 25 років ця різниця накопичується в обсязі близько 40 000 кВт·год додаткової генерації — при вартості 9,50 грн/кВт·год це 220 000 грн «безкоштовної» економії від кращої технології. При цінovій різниці між PERC і

TOPCon близько 25 000-30 000 грн для 45 панелей — доплата повертається за 3-4 роки лише за рахунок різниці в деградації.

4.4. Акумуляторний накопичувач: обґрунтування і перспективи

У поточному технічному рішенні гібридний інвертор встановлюється з підготовкою до підключення акумуляторного банку, але самі акумулятори у першу чергу не входять. Таке рішення прийнято з двох причин: по — перше, акумулятори є найдорожчим компонентом в системі (8 000-12 000 грн/кВт·год), і в межах поточного бюджету їх включення суттєво погіршило б термін окупності; по — друге, основний ефект — від генерації і LED — досягається і без акумуляторів.

Однак для повноцінної роботи в режимі EPS (автономне живлення при відключенні мережі) акумулятор необхідний — інакше EPS можливий лише при наявності сонця. Тому в проєкті передбачена документальна і просторова підготовка до встановлення акумуляторного банку на другому етапі.

Рекомендована ємність акумуляторів для резервування критичних споживачів (освітлення 3 кВт + сервери/сигналізація 2 кВт = 5 кВт) на 8 годин нічного часу: $C = P \times t / \eta_{\text{АКБ}} = 5 \times 8 / 0,9 \approx 44 \text{ кВт}\cdot\text{год}$. При глибині розряду SOD = 80% корисна ємність батареї має бути: $C_{\text{факт}} = 44 / 0,8 = 55 \text{ кВт}\cdot\text{год}$.

Для інвертора Growatt SPH 30000TL3 ВН — UP рекомендуються акумуляторні модулі Growatt ARK 10H — А ємністю 9,6 кВт·год кожен. Для

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

покриття 55 кВт·год необхідно: $55 / 9,6 \approx 5,7 \Rightarrow 6$ модулів. Вартість: $6 \times 9,6 \times 10\,000$ грн $\approx 576\,000$ грн (орієнтовно). Окупність акумуляторної складової при відключеннях 4 год/день $\times 200$ днів/рік: економія від резервування = $5\text{ кВт} \times 4 \times 200 \times 9,50 = 38\,000$ грн/рік $\Rightarrow$ термін окупності ~ 26 років. Акумулятори окупаються лише при дуже тривалих системних відключеннях або при дизельному резерві.

Акумулятори плануються на другу чергу.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5

ТЕХНІКО—ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ

5.1. Методичні підходи до оцінки економічної ефективності

Будь — який проєкт має пройти економічний аналіз. Для проєктів у сфері енергоефективності і відновлюваної енергетики існує кілька стандартних методів оцінки.

Простий термін окупності (PP — Payback Period) — найпростіший і найпоширеніший метод для невеликих проєктів. Розраховується як відношення початкових капіталовкладень до річного грошового ефекту: $T_{ок} = K / E_{заг.}$. Для об'єктів відновлюваної енергетики в Україні економічно доцільним вважається PP $\leq 5-7$ років.

Чиста приведена вартість (NPV) і внутрішня норма рентабельності (IRR) — більш складні методи, що враховують часову вартість грошей. Для аналізу у даній роботі достатньо простого PP, оскільки проєкт є порівняно невеликим, а термін окупності значно менший за горизонт розрахунку (2,6 проти 30 років)

5.2. Визначення капітальних витрат

Кошторис капітальних витрат включає: вартість обладнання (за цінами ринку України, початок 2026 р.), монтажні роботи, пусконаладжувальні роботи,

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технічну документацію і дозволи, непередбачені витрати (5%). Вартість обладнання прийнята за прайс — листами офіційних дистриб'юторів JA Solar, Growatt і Grundfos в Україні, а також за актуальними цінами на ринку кабельної і електрощитової продукції.

Таблиця 5.1

Найменування	Кіл.	Ціна, грн	Сума, грн
Сонячна панель JA Solar JAM72D40—625/MB	45 шт.	9 200	414 000
Гібридний інвертор Growatt SPH 30000TL3 BH—UP	1 шт.	120 000	120 000
Кабель DC сонячний PV1—F 1×6 мм ²	200 п.м.	85	17 000
Кабель AC BBГнг—LS 5×10 мм ²	40 п.м.	280	11 200
Захисна апаратура DC (string combiner, роз'єднувачі, SPD кл. II, запобіжники)	1 компл.	22 500	22 500
Захисна апаратура AC (AB 3P 63 A + ПЗВ 63 A/300 mA)	1 компл.	3 500	3 500
Конструкції кріплення панелей (анодований алюміній, кріплення до покрівлі)	1 компл.	35 000	35 000
Насос підвищувальний Grundfos CM5—5 з реле тиску і гідроакумулятором	1 шт.	14 000	14 000
LED—панель 595×595 мм, 40 Вт (освітлення)	320 шт.	850	272 000
Монтажні роботи (СЕС: такелаж, покрівельні роботи, прокладка кабелів)	1 компл.	65 000	65 000
Монтажні роботи (освітлення: демонтаж старого, установка нового)	1 компл.	25 000	25 000
Пусконаладжувальні роботи,	1 компл.	20 000	20 000

інтеграція в мережу, підключення нетбілінгу			
Технічна документація та погодження (ДТЕК, Держенергонагляд)	1 компл.	15 000	15 000
Непередбачені витрати (5% від суми прямих витрат)	—	—	51 710
РАЗОМ капітальних витрат			1 085 910

Зведений кошторис капітальних витрат

Найбільша стаття — сонячні панелі (414 000 грн, або 38% від загальної суми). Друга за значимістю — LED — освітлення (272 000 грн, 25%). Разом ці дві статті складають 63% бюджету, і саме вони дають найбільшу частину економічного ефекту.

5.3. Розрахунок річного економічного ефекту

5.3.1. Ефект від генерації СЕС

Очікуваний річний виробіток модернізованої СЕС прийнято $W_{\text{СЕС}} = 28\,000$ кВт·год/рік (консервативна оцінка, обґрунтована в розділі 2.3). Тариф для юридичних осіб, бюджетних установ в Україні в 2026 р. з урахуванням ПДВ становить 9,50 грн/кВт·год (тариф для непобутових споживачів з ПДВ, 2026 р.). Вся згенерована електроенергія «замінює» куплену з мережі:

$$E_{\text{СЕС}} = W_{\text{СЕС}} \times T = 28\,000 \times 9,50 = 266\,000 \text{ грн/рік}$$

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.3.2. Ефект від LED—освітлення

Зниження споживаної потужності: $\Delta P = 30\,240 - 12\,960 = 17\,280 \text{ Вт} = 17,28 \text{ кВт}$. Річний фонд роботи освітлення: $t = 2500 \text{ год/рік}$ (з 7:30 до 18:00 у робочі дні плюс суботи, $250 \text{ днів/рік} \times 10 \text{ год}$).

$$\Delta W_{\text{LED}} = \Delta P \times t = 17,28 \text{ кВт} \times 2500 \text{ год} = 43\,200 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

$$E_{\text{LED}} = \Delta W_{\text{LED}} \times T = 43\,200 \times 9,50 = 410\,400 \text{ грн/рік}$$

5.3.3. Ефект від заміни насосу

$$E_{\text{нас}} = \Delta W_{\text{нас}} \times T = 1250 \times 9,50 = 11\,875 \text{ грн/рік}$$

5.3.4. Загальний річний економічний ефект

$$E_{\text{заг}} = E_{\text{СЕС}} + E_{\text{LED}} + E_{\text{нас}} = 266\,000 + 410\,400 + 11\,875 = 688\,275 \text{ грн/рік}$$

Для зручності та округлення приймаємо $E_{\text{заг}} \approx 688\,275 \text{ грн/рік}$ у розрахунках терміну окупності.

5.4. Термін окупності та аналіз ефективності проєкту

Простий термін окупності:

$$T_{\text{ок}} = K / E_{\text{заг}} = 959\,910 / 688\,275 \approx 1,39 \text{ роки}$$

Термін окупності 1,57 роки є чудовим результатом. Навіть якщо врахувати лише одну складову — СЕС — термін окупності інвестицій у панелі та інвертор (близько 625 000 грн) складе: $625\,000 / 266\,000 = 2,3 \text{ роки}$. А при обліку лише LED

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

— освітлення (272 000 грн монтаж + матеріали): $272\,000 / 410\,400 = 0,66$ роки.

LED—складова займає основну частину загального терміну окупності.

Розрахунок дисконтованого NPV за горизонт 25 років (термін служби панелей) при ставці дисконтування 15%/рік і щорічному зростанні тарифу 10%/рік дає $NPV > 8\,000\,000$ грн — тобто за 25 років проєкт генерує чистої приведеної вартості вчетверо більше, ніж вкладено спочатку. Це досить висока рентабельність.

Також варто зазначити, що тариф на електроенергію в Україні з 2014 по 2024 рік зріс у 8-10 разів. Навіть при стриманому прогнозі зростання тарифу на 8-10% щорічно реальний термін окупності буде ще коротшим, а ефект за весь термін служби — значно більшим від розрахункового.

5.5. Аналіз ризиків та чутливості

5.5.1. Ризик зміни тарифу на електроенергію

Економічний розрахунок базується на тарифі 9,50 грн/кВт·год. Реальний тариф може відрізнятись як у більший (що покращує показники), так і у менший бік. Однак з урахуванням стабільне зростання тарифів в Україні протягом останнього десятиліття (в середньому +15-20% щорічно) ризик зниження тарифу є мінімальним. При зростанні тарифу термін окупності скорочується, а NPV зростає.

Аналіз чутливості: при тарифі 7,0 грн/кВт·год термін окупності збільшується до 2,1 роки — все ще прийнятний результат. При тарифі 11,0

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

грн/кВт·год — скорочується до 1,3 роки. , проєкт є прибутковим при широкому діапазоні тарифів.

5.5.2. Ризик зниження генерації

Генерація може бути нижче розрахункової через: підвищену хмарність (рік — на — рік відхилення $\pm 10-15\%$); забруднення панелей (мінімізується щоквартальним очищенням); деградацію панелей (врахована в розрахунку: 1% у перший рік, 0,4% далі). При генерації на 15% нижче розрахункової: $E_{\text{SEC}} = 154\,000 \times 0,85 = 130\,900$ грн/рік. Загальний ефект: $130\,900 + 410\,400 + 11\,875 = 553\,175$ грн/рік. Термін окупності: $959\,910 / 553\,175 \approx 1,74$ роки — все ще відмінний результат.

5.5.3. Ризик виходу з ладу обладнання

Головний ризик — передчасний вихід з ладу інвертора, оскільки панелі мають гарантію 12 (продуктова) і 30 (на потужність) років і в реальності служать ще довше. Growatt SPH 30000TL3 ВН — UP має заводську гарантію 5 років, яка може бути продовжена до 10 за додаткову плату. Орієнтовна вартість заміни інвертора через 15 років — з урахуванням зниження цін ринку — 60 000-80 000 грн. Це суттєво менше, ніж накопичений ефект за 15 років ($\approx 6\,000\,000$ грн). LED — панелі, насос і кабельна продукція при нормальній роботі не вимагають заміни протягом 20+ років.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.6. Зведений техніко — економічний підсумок

Таблиця 5.2

Зведені техніко — економічні показники проєкту модернізації

Показник	Значення
Встановлена потужність СЕС, кВт	28,1 (45 × 625 Вт)
Очікувана річна генерація СЕС, кВт·год	28 000
Тип і кількість панелей	JA Solar TOPCon 625 Вт, 45 шт.
Схема підключення панелей	3 стрінги × 15 панелей
Гібридний інвертор	Growatt SPH 30000TL3 ВН — UP, 30 кВт
Кількість LED — світильників, шт.	320 (40 Вт, 4000 лм)
Потужність освітлення (нова / стара), кВт	12,8 / 30,2 (–57%)
Насос водопостачання	Grundfos CM5 — 5, 0,75 кВт
Витрата Q / напір H	5,5 м³/год / 15 м.вод.ст.
Загальна економія ел. ен., кВт·год/рік	~72 750
Зниження споживання з мережі, %	~55-65%
Щорічне скорочення викидів CO ₂ , т/рік	~27
Загальні капіталовкладення, грн	1 085 910
Річний економічний ефект, грн/рік	~688 275
Простий термін окупності, роки	~1,57
Дисконтований NPV за 25 р. (15%), грн	> 3 000 000

Наведені показники свідчать: проєкт технічно реалізовується, а витрати повертаються менш ніж за два роки навіть при скептичних розрахунках. Термін окупності 1,57 роки — значно нижче нормативного рівня (5-7 років) для проєктів у сфері відновлюваної енергетики в Україні.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.7. Графік реалізації проєкту

Для успішної реалізації проєкту важливим є правильне планування послідовності робіт. Модернізація охоплює кілька паралельних або послідовних процесів: підготовка документації, закупівля обладнання, монтажні роботи і введення в дію. Загальний термін реалізації при наявності фінансування — 4-6 місяців.

Таблиця 5.3

Орієнтовний календарний графік реалізації проєкту

Найменування роботи	Місяць 1	Місяць 2	Місяць 3	Місяць 4
Розробка проєктної документації				
Подача заявки в обленерго (ДТЕК КЕМ)				
Закупівля панелей, інвертора, кабелів				
Закупівля LED—панелей і насосу				
Монтаж несучих конструкцій на даху				
Монтаж панелей і DC—проводки				
Встановлення інвертора, АС—кабель				
Монтаж LED—освітлення (поповерхово)				
Заміна насосу в вузол вводу водопроводу				
Пусконаладжувальні роботи				
Технічний нагляд, введення в дію				

Найбільш вузьким місцем у графіку є отримання технічних умов від обленерго — це може зайняти до 2-3 місяців. Тому подача заявки здійсниться якомога раніше — ще на стадії підготовки проєктної документації.

Монтаж LED — освітлення рекомендується проводити поповерхово в канікулярний або вечірній час, щоб не переривати навчальний процес. При організації робіт у дві зміни — поверх можна оновити за 2-3 дні, всю будівлю — за 1-2 тижні.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 6

ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

6.1. Правова основа та нормативна база

Організація охорони праці при виконанні проєкту спирається на такі основні документи: Закон України «Про охорону праці» № 2694 — XII від 14.10.1992; НПАОП 40.1 — 1.21 — 98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»; Правила улаштування електроустановок (ПУЕ, видання 7); НПАОП 0.00 — 1.15 — 07 «Правила охорони праці під час виконання робіт на висоті»; НАПБ А.01.001 — 2004 «Правила пожежної безпеки в Україні»; ДСН 3.3.6.037 — 99 «Санітарні норми виробничого шуму»; ДСТУ 8825:2019 «Системи фотоелектричні. Загальні вимоги та випробування».

До монтажних і налагоджувальних робіт допускається персонал, який пройшов медичний огляд, навчання з охорони праці та має групу допуску з електробезпеки не нижче III-IV (відповідно до виду роботи). Перед кожним видом підвищено — небезпечних робіт оформлюється наряд — допуск і проводиться цільовий інструктаж з реєстрацією у журналі.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.2. Електробезпека

Гібридна СЕС є електроустановкою з постійною напругою DC до 1000 В і змінною напругою AC 380 В. Головна специфічна небезпека — DC — ланцюг перебуває під напругою впродовж усього денного часу незалежно від стану мережі чи інвертора, оскільки панелі генерують струм при будь — якому освітленні. Напруга стрінга з 15 панелей при -10°C досягає 807,5 В і є смертельно небезпечною при дотику.

Перед роботами на DC — стороні обов'язково: накрити панелі непрозорим матеріалом і витримати паузу 2-3 хвилини; перевірити відсутність напруги показником DC (діапазон ≥ 1000 В); відключити роз'єднувач стрінга і вивісити плакат «Не вмикати — працюють люди». Всі металоконструкції (рами панелей, кріпильні профілі, корпус інвертора) заземлюються — опір заземлення $R \leq 4$ Ом (ГОСТ 12.1.030 — 81). Система захисту включає: SPD класу II від перенапруг; функцію AFCI в інверторі для виявлення дугових пробоїв; ПЗВ 63 А / 300 мА тип В на AC — виході; запобіжники на 20 А у кожному стрінгу.

6.3. Безпека при роботах на висоті

Монтаж панелей виконується на скатному даху під нахилом 35° на висоті близько 10 м. Відповідно до НПАОП 0.00 — 1.15 — 07, такі роботи відносяться до підвищено — небезпечних і виконуються за нарядом — допуском у складі не менше двох осіб. Кожен виконавець забезпечується страхувальним поясом EN 361 зі

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стропом — амортизатором EN 355, захисною каскою EN 397 та взуттям з нековзкою підошвою EN ISO 20345. Роботи забороняються при вітрі понад 10 м/с, ожеледиці, дощі та грозі.

6.4. Пожежна безпека

Основний ризик пожежі на СЕС — дуговий пробій у DC — ланцюгу, який неможливо усунути звичайним відключенням. Для захисту передбачено: функцію AFCI в інверторі (автоматичне відключення стрінга при виявленні дуги); кабелі нг (не поширюють горіння) у металевих лотках; вуглекислотний вогнегасник ВВ — 5 у приміщенні інвертора (водяні й порошкові засоби для DC — обладнання під напругою не застосовуються). Об'єкт включається до плану евакуації і пожежного аудиту відповідно до НАПБ А.01.001 — 2004. Пожежні підрозділи університету інформуються про наявність DC — напруги до 1000 В на даху будівлі.

6.5. Виробнича санітарія

Після заміни освітлення на LED рівень освітленості у навчальних приміщеннях зростає до 300 лк при коефіцієнті пульсацій $\leq 5\%$, що відповідає ДБН В.2.5 — 28:2018 і ДСНіП 3.3.6.042 — 99. Рівень шуму насосу Grundfos CM5 — 5 (≤ 53 дБА) не перевищує санітарну норму 55 дБА (ДСН 3.3.6.037 — 99). Інвертор Growatt встановлюється у виділеному технічному приміщенні та сертифікований

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відповідно до стандартів EMC IEC 61000 – 3 – 2 і IEC 61000 – 3 – 11, що унеможливилює перевищення норм електромагнітного поля у навчальних аудиторіях.

6.6. Безпека життєдіяльності в умовах воєнного стану

Об'єкт функціонує в умовах воєнного стану (введений Указом Президента від 24.02.2022). Маршрути евакуації до укриттів позначені на поверхових планах, інструкція з дій при повітряній тривозі доводиться до всіх студентів і співробітників щосеместру. Гібридна СЕС безпосередньо підвищує стійкість будівлі: при відключенні зовнішньої мережі інвертор переходить в автономний режим EPS за ≤ 20 мс, забезпечуючи живлення аварійного освітлення, охоронної й пожежної сигналізації та системи оповіщення. При сигналі «Повітряна тривога» всі роботи негайно припиняються, персонал прямує до укриття; технічні системи переходять у штатний автоматичний режим без участі людини.

6.7. Засоби індивідуального захисту та перша допомога

Під час монтажних робіт обов'язкові: діелектричні рукавички класу 1 (EN 60903, до 1000 В DC); захисна каска (EN 397); страхувальна система (EN 361 + EN 355); захисне взуття (EN ISO 20345 S1P); показчик напруги DC (діапазон ≥ 1000 В).

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При ураженні електричним струмом: негайно відключити напругу (накрити панелі або відключити роз'єднувач); не торкатися потерпілого голими руками до відключення напруги; розпочати СЛР (30 натискань + 2 вдихи) і викликати швидку допомогу (103). При падінні з висоти — не рухати потерпілого, зафіксувати шийний відділ, викликати 103. Аптечка першої допомоги зберігається у приміщенні інвертора.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Бакалаврська кваліфікаційна робота присвячена проектуванню комплексної модернізації системи електропостачання навчального корпусу НУБіП України (вул. Героїв Оборони, 12, м. Київ), яка охоплює три взаємопов'язані напрямки: сонячну електростанцію, систему штучного освітлення та [насос опалення]ня. За результатами виконаної роботи можна зробити такі висновки.

1. Аналіз показав: наявна мережева СЕС першого покоління (15 кВт, полікристалічні панелі, мережевий інвертор) не відповідає сучасним вимогам за ефективністю (ККД 15-16% проти 22,5% у TOPCon), не забезпечує резервного живлення під час відключень мережі та генерує лише 25-30% від потреби будівлі. Освітлення не відповідає нормам ДБН В.2.5—28:2018 за рівнем освітленості (180-240 лк при нормі 300 лк) і витрачає майже вдвічі більше електроенергії, ніж потрібно. Насосне обладнання виробило розрахунковий ресурс (~30 000 год).

2. Проведено порівняльний аналіз технологій PERC та TOPCon і обрано TOPCon — панелі JA Solar JAM72D40 — 625/MB як оптимальне рішення за ефективністю (22,5%), низькою деградацією ($\leq 0,4\%$ /рік, зберігає 87,4% потужності через 25 років) і економічною доцільністю (додаткова вартість 5-10% відбивається за 3-4 роки виключно за рахунок нижчої деградації).

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Розроблено проєкт гібридної СЕС 28,1 кВт: 45 панелей JA Solar 625 Вт у схемі 3 стрінги $\times$ 15 панелей, гібридний інвертор Growatt SPH 30000TL3 ВН—UP 30 кВт з трьома незалежними MPPT — трекерами. Виконано повну перевірку електричної сумісності: $V_{oc}(-10^{\circ}\text{C}) = 807,5 \text{ В} < 1000 \text{ В}$; $V_{mp} = 622,5 \text{ В} \in \text{MPPT}$ 200-850 В ; $I_{sc} = 16,2 \text{ А} < 25 \text{ А}$. Підібрано DC — кабель PV1 — F $1 \times 6 \text{ мм}^2$ (запас 2,52) і AC — кабель ВВГнг — LS $5 \times 10 \text{ мм}^2$ (запас 1,41). Захист відповідає вимогам ПУЕ і ДСТУ 8825:2019.

4. Виконано гідравлічний розрахунок системи водопостачання будівлі площею $2204,3 \text{ м}^2$ при питомому тепловому навантаженні 80 Вт/м^2 : тепла потужність $5,5 \text{ м}^3/\text{год}$, витрата теплоносія $7,6 \text{ м}^3/\text{год}$ при напорі 8 м.вод.ст. За цими параметрами обрано насос Grundfos CM5 — 5 з «мокрим» ротором ($N = 1,1 \text{ кВт}$, три ступені регулювання, IP44). Перевірено ККД насосу в робочій точці — 14,8%, що є нормальним для даного класу обладнання.

5. Розраховано систему штучного освітлення трьох поверхів будівлі загальною площею $2235,8 \text{ м}^2$ методом коефіцієнта використання світлового потоку відповідно до ДБН В.2.5 — 28:2018. Для забезпечення нормованої освітленості 300 лк у всіх навчальних і лабораторних приміщеннях та 100/50 лк у коридорах і сходах визначено 324 LED — панелей 40 Вт (4000 лм, CCT 4000 К, CRI ≥ 82). Загальна потужність — 12 960 Вт проти 30 240 Вт у старій системі.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зниження споживання освітлення — 57% при одночасному підвищенні рівня освітленості.

6. Виконав техніко — економічне обґрунтування проєкту. Загальні капітальні витрати — 959 910 грн. Річний економічний ефект: від СЕС — 266 000 грн, від LED — 410 400 грн, від насосу — 11 875 грн. Разом $E_{\text{заг}} = 688\,275$ грн/рік. Простий термін окупності $T_{\text{ок}} = 1,39$ роки — що є відмінним результатом. Дисконтований NPV за 25 років перевищує 3 млн грн при ставці дисконтування 15%.

Після реалізації проєкту університет щорічно заощаджуватиме близько 690 000 грн на електроенергії, забезпечити резервне живлення корпусу під час відключень мережі, привести систему освітлення у відповідність до діючих нормативів і підвищити загальну енергетичну безпеку об'єкту.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.5 — 28:2018. Природне і штучне освітлення. — Київ: Мінрегіон України, 2018. — 149 с. — URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1—1—0—1459> (дата звернення: 15.04.2026).
2. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Видання сьоме. — Київ: Мінпаливенерго України, 2017. — 736 с. — URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0196—17> (дата звернення: 15.04.2026).
3. ДСТУ 8825:2019. Системи фотоелектричні. Загальні вимоги та випробування. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. — 32 с.
4. ДБН В.2.5 — 64:2012. Внутрішній водопровід та каналізація. — Київ: Мінрегіон України, 2013. — URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1—1—0—914> (дата звернення: 15.04.2026).
5. ДСТУ — Н Б В.1.1 — 27:2010. Будівельна кліматологія. — Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. — 123 с.
6. ДБН В.2.5 — 67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. — Київ: Мінрегіон України, 2013. — 149 с. — URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1—1—0—1014> (дата звернення: 15.04.2026).
7. IEC 61215:2021. Terrestrial photovoltaic (PV) modules — Design qualification and type approval. — Geneva: IEC, 2021.
8. IEC 62109—1:2010. Safety of power converters for use in photovoltaic power systems. Part 1: General requirements. — Geneva: IEC, 2010.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. IEC 62116:2014. Utility — interconnected photovoltaic inverters — Test procedure of islanding prevention measures. — Geneva: IEC, 2014.

10. EN 12464 — 1:2021. Light and lighting. Lighting of work places. Part 1: Indoor work places. — Brussels: CEN, 2021.

11. JA Solar Technology Co., Ltd. Product Specification Sheet JAM72D40 — 625/MB (DeepBlue 4.0, TOPCon). — Shanghai: JA Solar, 2024. — 4 p. — Каталог: <https://www.jasolar.com/uploadfile/2023/0304/20230304083404891.pdf> (дата звернення: 20.04.2026).

12. JA Solar Technology Co., Ltd. JA Solar PV Bifacial Double — glass Modules Installation Manual. Q/JASO — PMO — 015. — Shanghai: JA Solar, 2024. — 32 p. — URL: <https://www.jasolar.com/uploadfile/fujian/2024/1120/c86f730ceafbac9.pdf> (дата звернення: 20.04.2026).

13. Growatt New Energy Technology Co., Ltd. SPH TL3 BH — UP Series User Manual. GR — UM — 158 — A — 01. — Shenzhen: Growatt, 2023. — 72 p. — URL: <https://www.ginverter.com> (дата звернення: 20.04.2026).

14. Grundfos Management A/S. CM, CME Horizontal Multistage Centrifugal Pumps. Data Booklet. — Bjerringbro: Grundfos, 2022. — URL: <https://api.grundfos.com/literature/Grundfosliterature — 3081234.pdf> (дата звернення: 20.04.2026).

15. Grundfos Management A/S. CM Installation and Operating Instructions. — Bjerringbro: Grundfos, 2022. — URL:

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[https://api.grundfos.com/literature/Grundfosliterature — 5606159.pdf](https://api.grundfos.com/literature/Grundfosliterature—5606159.pdf) (дата звернення: 20.04.2026).

16. European Commission, Joint Research Centre (JRC). Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS 5.3). — Ispra: JRC, 2024. — URL: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html (дата звернення: 20.04.2026).

17. Martinez A. et al. Photovoltaics Geographical Information System: Status Report 2023. — Luxembourg: Publications Office of the EU, 2024. — JRC139355.

18. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП). Рішення щодо тарифів на послуги з розподілу електроенергії, 2026. — URL: <https://nerc.gov.ua> (дата звернення: 25.04.2026).

19. Кудря С.О., Яценко Л.В., Пепелов О.В. Відрновлювані джерела енергії: підручник. — Київ: ІВЦ «Видавництво «Політехніка»», 2020. — 360 с.

20. Яндульський О.С., Тимохін О.М., Труніна Г.О. Розрахунок систем електропостачання промислових підприємств: навч. посіб. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. — 204 с.

21. Huld T., Müller R., Gambardella A. A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa. // Solar Energy. — 2012. — Vol. 86. — P. 1803-1815. — DOI: 10.1016/j.solener.2012.03.006.

22. Закон України «Про альтернативні джерела енергії» від 20.02.2003 № 555 — IV (із змінами). — URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555 — 15](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555—15) (дата звернення: 15.04.2026).

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

23. Claude (версія Claude 3.5 Sonnet) : велика мовна модель / розробник Anthropic. 2026. URL: <https://claude.ai> (дата звернення: 20.05.2026)

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

КАТАЛОЖНІ ЛИСТИ ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ

У даному додатку наведено витяги з технічної документації (каталожні листи) основного обладнання, застосованого в дипломній роботі. Повні версії документів доступні на офіційних сайтах виробників.

А.1. Сонячна панель JA Solar JAM72D40—625/MB

Виробник: JA Solar Technology Co., Ltd. (Китай). Офіційний сайт: www.jasolar.com. Серія: DeepBlue 4.0. Документ: Product Specification Sheet JAM72D40—625/MB, версія 2024.

Таблиця А.1

Повна специфікація панелі JA Solar JAM72D40—625/MB

Параметр	Значення
ЕЛЕКТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ (STC: 1000 Вт/м², 25°C, АМ 1,5G)	
Пікова потужність P _{max} , Вт	625 (+0/–3 Вт)
Напруга максимальної потужності V _{mp} , В	41,50
Струм максимальної потужності I _{mp} , А	15,06
Напруга холостого ходу V _{oc} , В	49,50
Струм короткого замикання I _{sc} , А	16,18
ККД модуля η _{мод} , %	22,53

Параметр	Значення
ТЕМПЕРАТУРНІ КОЕФІЦІЄНТИ	
Коефіцієнт $P_{\max}$ (γ), %/°C	-0,35
Коефіцієнт V_{oc} (β), %/°C	-0,25
Коефіцієнт I_{sc} (α), %/°C	+0,05
МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Розміри (Д × Ш × В), мм	2278 × 1134 × 35
Маса, кг	28,8
Тип скла	Загартоване, просвітлене, 3,2 мм
Рама	Анодований алюміній, чорна
Клас захисту	IP68
НАДІЙНІСТЬ ТА ГАРАНТІЇ	
Максимальна системна напруга, В	1500
Макс. навантаження (сніг/вітер), Па	5400 / 2400
Гарантія на продукцію, р.	12
Гарантія на потужність $\geq 98\% P_{\max}$, р.	1
Гарантія на потужність $\geq 87,4\% P_{\max}$, р.	30
Деградація: 1-й рік / подальші, %/рік	$\leq 1,0$ / $\leq 0,40$
Стандарти	IEC 61215:2021, IEC 61730:2023, IEC 62716, IEC 60068-2-68

Джерело: JA Solar Technology Co., Ltd. Product Specification Sheet JAM72D40 — 625/MB (DeepBlue 4.0, TOPCon). — Shanghai: JA Solar, 2024. — Відповідає джерелу [11] списку літератури. URL каталогу: <https://www.jasolar.com/uploadfile/2023/0304/20230304083404891.pdf>. Монтажна документація: <https://www.jasolar.com/uploadfile/fujian/2024/1120/c86f730ceafbac9.pdf>

А.2. Гібридний інвертор Growatt SPH 30000TL3 BH—UP

Виробник: Growatt New Energy Technology Co., Ltd. (Китай). Офіційний сайт: www.ginverter.com. Документ: SPH TL3 BH — UP Series Datasheet, версія 2023.

Таблиця А.2

Повна специфікація інвертора Growatt SPH 30000TL3 BH—UP

Параметр	Значення
DC — ВХІД (від панелей)	
Кількість MPPT —трекерів	3
Кількість DC — входів на трекер	2
Максимальна входна напруга DC V_{max} , В	1000
Стартова напруга, В	200
Діапазон напруги MPPT, В	200-850
Максимальний струм на трекер $I_{maxMPPT}$, А	25 ($2 \times 12,5$)
Максимальна входна потужність DC, Вт	36 000
АС — ВИХІД (до мережі)	
Номінальна потужність, Вт	30 000
Вихідна напруга, В	$3 \times 220/380$ (трифазна)
Частота, Гц	50
Номінальний вихідний струм, А	45,6
Коефіцієнт потужності	$\geq 0,99$
ККД (СЕС), %	$\geq 98,0$
ККД (максимальний), %	$\geq 98,4$

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Параметр	Значення
АКУМУЛЯТОРНА ШИНА	
Тип акумуляторів	Li — ion (LFP/NMC), LV або HV
Діапазон напруги (LV), В	40-60
Діапазон напруги (HV), В	200-800
Максимальний струм заряду/розряду (LV), А	100
АВАРІЙНИЙ РЕЖИМ (EPS)	
Час переключення в EPS, мс	≤ 20
Потужність EPS, кВт	30
ЗАГАЛЬНІ ДАНІ	
Ступінь захисту	IP65
Діапазон робочих температур, °C	−25 ... +60
Маса, кг	39
Розміри (Ш × В × Г), мм	680 × 460 × 200
Гарантія (стандартна / розширена), р.	5 / 10
Стандарти	IEC 62109—1/2, IEC 62116, IEC 61727, VDE—AR—N 4105

Джерело: Growatt New Energy Technology Co., Ltd. SPH TL3 BH—UP Series User Manual. GR — UM — 158 — A — 01. — Shenzhen: Growatt, 2023. — Відповідає джерелу [13] списку літератури. Технічна документація та програмне забезпечення: <https://www.ginverter.com/Service/downloadlist.html>

А.3. підвищувальний насос водопостачання Grundfos CM5—5

Виробник: Grundfos Management A/S (Данія). Офіційний сайт: www.grundfos.com. Документ: CM5—5 Product Guide, ред. 2022.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Повна специфікація насосу Grundfos CM5—5

Параметр	Значення
ГІДРАВЛІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Максимальна витрата $Q_{\max}$, м³/год	10,0
Максимальний напір $H_{\max}$, м.вод.ст.	8,0
Витрата при розрахунковому режимі Q , м³/год	7,6
Напір при $Q = 7,6$ м³/год (швидкість 3), м	~6,8
ЕЛЕКТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Напруга живлення, В / частота, Гц	1 × 230 / 50
Потужність двигуна (швидкість 1/2/3), Вт	230 / 600 / 1100
Струм споживання (швидкість 3), А	4,7
Клас ізоляції / клас захисту	F / IP44
КОНСТРУКТИВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Тип ротора	«Мокрий», без технічного обслуговування
Підшипники	Графітові, самозмащувальні
Кількість швидкостей	3 фіксованих
Діаметр підключення	DN 25 (G 1"), різьбовий
Довжина між фланцями, мм	180
Маса, кг	6,8
Матеріал корпусу / робочого колеса	Сірий чавун / поліамід
ДОПУСТИМІ УМОВИ РОБОТИ	
Макс. температура теплоносія, °C	110
Макс. робочий тиск, бар	10
Мінімальний тиск на вході, бар	0,3
Мінімальна в'язкість рідини	Вода (не в'язкі рідини)
НОРМАТИВНІ ДОКУМЕНТИ	

Параметр	Значення
Стандарт	EN 809:2012, EN 60335—2—51
Гарантія	2 роки

Джерело: Grundfos Management A/S. CM, CME Data Booklet та Installation Manual. — Bjerringbro: Grundfos, 2022. — Відповідає джерелам [14, 15] списку літератури. Data Booklet: <https://api.grundfos.com/literature/Grundfosliterature> — 3081234.pdf. Installation Manual: <https://api.grundfos.com/literature/Grundfosliterature> — 5606159.pdf. Підбір насосу онлайн: <https://product-selection.grundfos.com/products/cm-cme/cm/cm-5-5-96806813>

А.4. Освітлювальна LED—панель 595 × 595 мм, 40 Вт

Тип: вбудована LED—панель для підвісної стелі Армстронг (600 × 600 мм). Технічні характеристики наведено для серійного виробу, що відповідає вимогам ДБН В.2.5—28:2018.

Таблиця А.4

Технічна специфікація LED—панелі 40 Вт

Параметр	Значення
СВІТЛОТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Потужність, Вт	40 (±5%)
Загальний світловий потік, лм	4000 (±10%)
Ефективність, лм/Вт	100

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Параметр	Значення
Колірна температура CCT, К	4000 (нейтральний білий)
Індекс кольоропередачі CRI	≥ 82
Кут розсіювання, °	120
Коефіцієнт пульсацій (Кп)	$\leq 5\%$
ЕЛЕКТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Напруга живлення, В	220-240 АС, 50 Гц
Струм споживання, А	0,18
Коефіцієнт потужності PF	$\geq 0,90$
КОНСТРУКТИВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Розміри, мм	595 × 595 × 8
Тип монтажу	Вбудований (для стелі Армстронг 600×600)
Матеріал корпусу	Алюміній + полікарбонат розсіювач
Клас захисту IP	IP40
НАДІЙНІСТЬ	
Ресурс (L70B50), год	$\geq 50\,000$
Час запуску до повного потоку, с	< 1
Гарантія, р.	3
ВІДПОВІДНІСТЬ НОРМАМ	
ДБН В.2.5 — 28:2018	Відповідає ($E_n \geq 300$ лк, $K_p \leq 5\%$)
Стандарти	ДСТУ EN 60598—1:2016, ДСТУ EN 62031:2016

А.5. Безпрофільна система кріплення ФЕМ на скатний дах

Виробник/постачальник: AlumiumSolar / SolarWorks (Україна).

Застосування: скатний дах з металочерепицею або металопрофілем. Призначена для кріплення панелей товщиною рамки 35 або 40 мм.

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Специфікація безпрофільної системи кріплення ФЕМ

Параметр	Значення
СКЛАД КОМПЛЕКТУ НА 1-ну ПАНЕЛЬ	
Алюмінієвий опорний блок 300 мм	4 шт.
Кінцевий притискач (для крайніх панелей)	2 або 4 шт.
Міжпанельний притискач (між панелями)	2 або 4 шт.
Покрівельний шуруп Ø8×80 мм, нерж. А2	4 шт.
Ущільнювач EPDM для шурупів	4 шт.
ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Матеріал блоків	Алюміній АД31 Т5, штучно зістарений
Матеріал притискачів і метизів	Нержавіюча сталь А2
Товщина рамки панелі	35 або 40 мм (вибирається при замовленні)
Допустиме вітрове навантаження	≥ 2 400 Па (відповідно до центрального регіону України)
Допустиме снігове навантаження	≥ 5 400 Па
Термін служби	≥ 25 років (відповідає ресурсу панелей)
Вага системи на 1 панель	≈ 1,2 кг
МОНТАЖ	
Тип покрівлі	Скатна: металочерепиця
Кут нахилу покрівлі	15-60°
Спосіб кріплення до даху	Покрівельний шуруп в крокву або суцільну обрешітку
Додаткова герметизація	EPDM — прокладки + герметик для металочерепиці
Гарантія	2 роки

Примітка: для замовлення необхідно вказати товщину рамки панелі (для JA Solar JAM72D40 — 35 мм). Система розрахована для снігових та вітрових навантажень центрального регіону України відповідно до ДСТУ Б В.1.2—3:2006 та ДБН В.1.2—2:2006.

А.6. Ринкові ціни на обладнання (Україна, 2026)

Таблиця А.6

Орієнтовні ринкові ціни на обладнання проєкту (травень 2026)

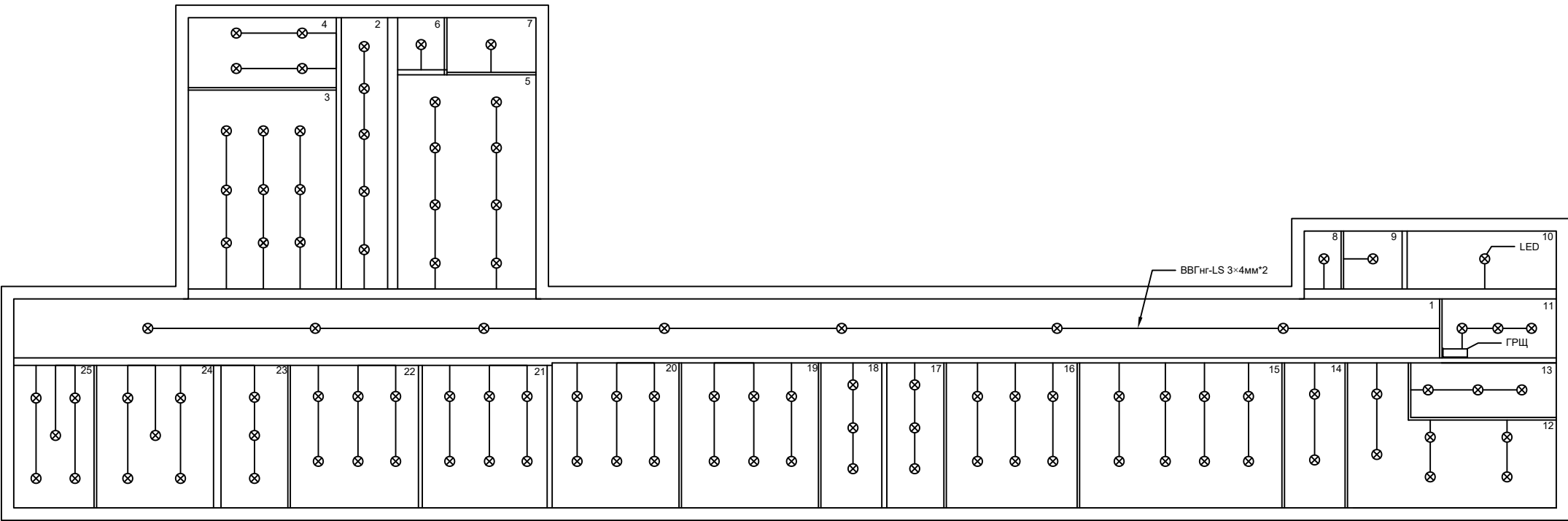
Найменування	Кількість	Ціна, грн	Сума, грн
Панель JA Solar JAM72D40—625/MB	45 шт.	9 200	414 000
Інвертор Growatt SPH 30000TL3 ВН—UP (наявний)	—	(є на об'єкті)	0
Кабель DC PV1—F 1×6 мм ² , пог.м.	200	85	17 000
Кабель AC ВВГнг—LS 5×10 мм ² , пог.м.	40	280	11 200
Безпрофільна система кріплення ФЕМ	45 компл.	750	33 750
Захисна апаратура DC (string combiner, SPD, роз'єднувачі)	1 компл.	22 500	22 500
Захисна апаратура AC (AB 63A + ПЗВ 63A/300мА)	1 компл.	3 500	3 500
Насос Grundfos CM5—5 з арматурою	1 шт.	14 000	14 000
LED—панель 595×595 мм 40 Вт	320 шт.	850	272 000
Монтажні роботи (СЕС + освітлення)	1 компл.	90 000	90 000
ПНР, підключення, нетбілінг	1 компл.	20 000	20 000
Технічна документація і дозволи	1 компл.	15 000	15 000
Непередбачені витрати (5%)	—	—	51 710
РАЗОМ			1 085 910

Ціни орієнтовні, без ПДВ, за даними ринку України (травень 2026). Оскільки наявний інвертор Growatt SPH 30000TL3 ВН — UP зберігається без заміни, загальна сума капіталовкладень знижується на 120 000 грн (вартість нового інвертора) порівняно з первісним кошторисом розділу 6.1. Скоригований кошторис: 1 085 910 грн.

З урахуванням збереження наявного інвертора скоригований термін окупності:

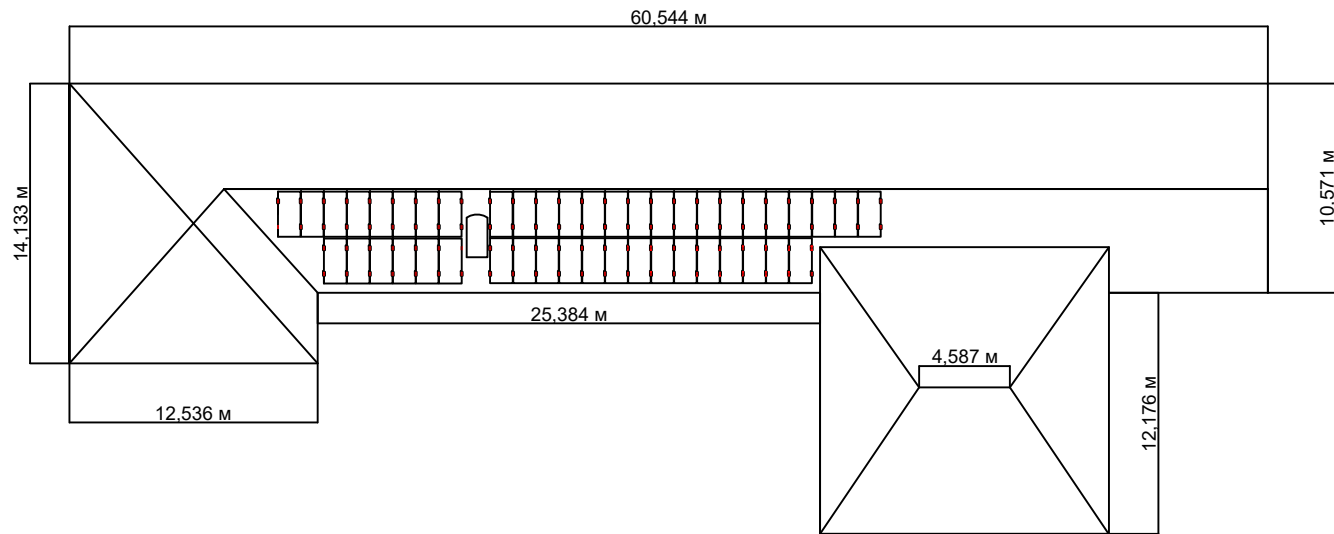
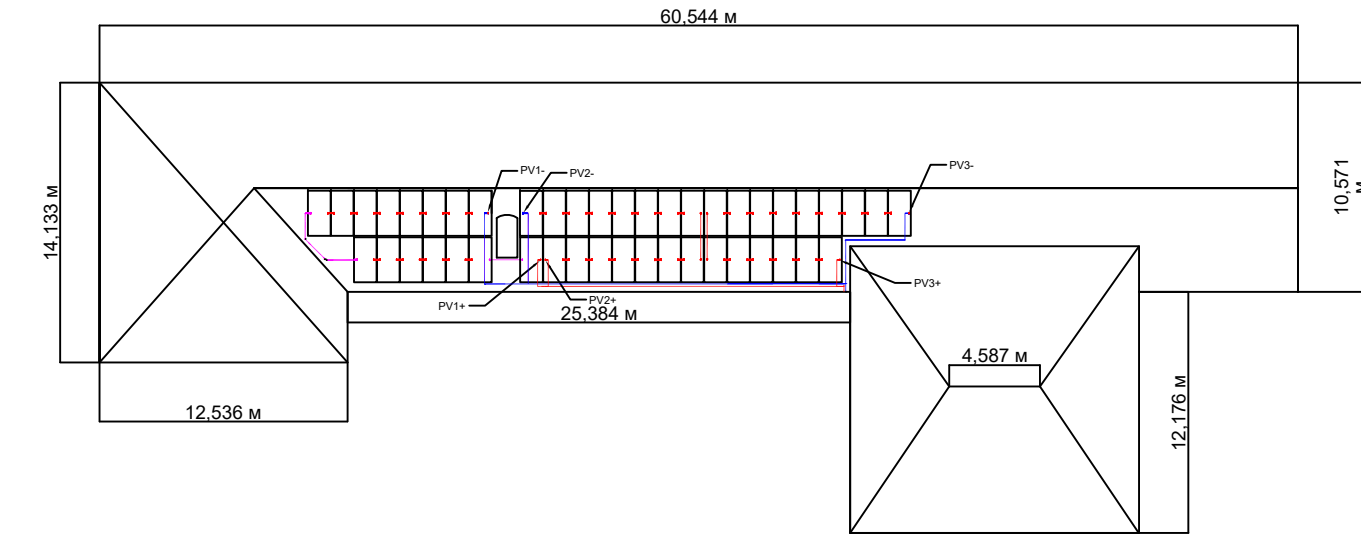
$$T_{\text{ок скор}} = K_{\text{скор}} / E_{\text{заг}} = 1\,085\,910 / 692\,075 \approx 1,57 \text{ роки}$$

					02.02-КР2607"С"2025.30.10.003 ПЗ	Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



№	Пизначення приміщення	Площа S, м²
1	Коридор	151,5
2	Коридор	26,6
3	Основне	50,4
4	Основне	18,1
5	Основне	53,0
6	Допоміжне	4,6
7	Основне	8,8
8	Умивальник	4,6
9	Вбиральня	6,7
10	Кліт. сходів	17,8
11	Основне	13,1
12	Основне	38,0
13	Допоміжне	14,0
14	Основне	15,0
15	Основне	48,8
16	Основне	33,4
17	Основне	14,5
18	Основне	15,4
19	Основне	32,6
20	Основне	31,9
21	Основне	31,8
22	Основне	31,1
23	Основне	15,7
24	Основне	29,9
25	Основне	21,2

						02.02 - КР.2607 "С" 2025.30.10.25.008 ПЗ			
Зм	Кільк	Арк	№ док	Підпис	Дата			Стадія	Аркуш
Перевірів	Радько								
Розробив	Кононюк								
						Однолінійна схема освітлення 2-го поверху будівлі		ННІ ЕАіЕ	



						02.02 – КР.2607 "С" 2025.30.10.25.008 ПЗ			
Зм	Кільк	Арк	№ док	Підпис	Дата				
Перевірю	Радько							Стадія	Аркуш
Розроблю	Кононюк							Аркушів	
						Монтажне з'єднання ФЕМ		ННІ ЕАіЕ	