

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

УПРАВЛІННЯ ПОПИТОМ НА ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ

Практикум

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня магістр
за освітньою програмою «Енергоменеджмент та енергоефективні технології»
спеціальності G3 «Електрична інженерія»

Укладачі: Ю. А. Веремійчук, В.П. Опришко, Я.Д. Онищенко

Електронне мережне навчальне видання

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2026

Укладачі: *Веремійчук Юрій Андрійович*, канд. техн. наук, доц.
Опришко Віталій Павлович, канд. техн. наук, старший викладач
Онищенко Ярослав Дмитрович, канд. техн. наук, асистент

Рецензент *Босак А.В.*, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних
комплексів НН ІЕЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського

Відповідальний редактор *Бориченко О. В.*, кандидат технічних наук, доцент.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 1 від 11.09.2026 р.)
за поданням вченої ради НН ІЕЕ
(протокол № 11 від 30.06.2026 р.)*

Управління попитом на енергетичні ресурси [Електронний ресурс] : практикум : навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою «Енергоменеджмент та енергоефективні технології» спеціальністю G3 «Електрична інженерія» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Ю. А. Веремійчук, В.П. Опришко, Я.Д. Онищенко. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026. – 112 с.

У представленому посібнику викладено основні положення щодо виконання практичних робіт, тематика яких обіймає розділи курсу по вивченню основних понять та положень з управління попитом. Навчальне видання до виконання практичних робіт містить основні теоретичні відомості, програму роботи, вказівки для її виконання, зміст звіту та контрольні запитання.

В практикумі висвітлено основні завдання щодо управління попитом з використанням програмного забезпечення RETScreen. Розглянуто основні підходи та методи щодо оцінки, аналізу й планування енерговикористання, розроблення енергоефективних заходів на виробництві, у комунально-побутовій сфері, у господарському й житловому будівництві тощо.

Навчальне видання призначене для здобувачів ступеня магістра за спеціальністю G3 «Електрична інженерія» за освітньою програмою «Енергоменеджмент та енергоефективні технології».

Реєстр. № НП 26/27-006. Обсяг 5 авт. арк.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Берестейський, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026

З М І С Т

Вступ.....	5
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1. ОЗНАЙОМЛЕННЯ З ПРОГРАМНИМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ RETSCREEN	8
1.1 Основні теоретичні відомості	8
1.1 Перший запуск програми	10
1.3 Контрольні питання	16
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №2. МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ БУДІВЛІ.....	17
2.1 Основні теоретичні відомості	17
2.2 Приклад моделювання.....	20
2.3 Контрольні питання	23
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №3. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ.....	24
3.1 Основні теоретичні відомості	24
3.2 Приклад моделювання.....	26
3.3 Контрольні питання.	39
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №4. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ МАЛОЇ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	40
4.1 Основні теоретичні відомості	40
4.2 Приклад моделювання.....	46
4.3 Контрольні питання	54
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №5. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ГЕНЕРАЦІЇ НА БІОГАЗІ.....	55
5.1 Основні теоретичні відомості	55
5.2 Приклад моделювання.....	60
5.3 Контрольні питання	70

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №6. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ГЕНЕРАЦІЇ НА БІОМАСІ.	71
6.1 Основні теоретичні відомості	71
6.2 Приклад моделювання.....	75
6.3 Контрольні питання	83
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №7. ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ НА ПРОМИСЛОВОМУ ОБ’ЄКТІ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.	84
7.1 Основні теоретичні відомості	84
7.2 Приклад моделювання.....	91
7.3 Контрольні питання	97
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 8. ПРОЄКТУВАННЯ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З МОЖЛИВІСТЮ АКУМУЛЮВАННЯ ЕНЕРГІЇ .	98
8.1 Основні теоретичні відомості	98
8.2 Приклад моделювання.....	104
8.3 Контрольні питання	112
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	113

Вступ

Управління попитом - всеохоплюючий або інтегрований підхід, спрямований на здійснення впливу на обсяг та графік споживання електричної енергії з метою зменшення споживання первинної енергії та максимальних (пікових) навантажень, при цьому перевага надається залученню інвестицій, спрямованих на підвищення енергоефективності, інші заходи, зокрема укладення контрактів на переривчасте постачання, та засоби регулювання навантаження, порівняно з інвестиціями у збільшення генеруючих потужностей, якщо перший із зазначених заходів є більш ефективним та економічно доцільним варіантом, враховуючи позитивний вплив на навколишнє природне середовище в результаті скорочення споживання енергії та аспекти, пов'язані з безпекою постачання, і пов'язані з ними витрати на розподіл, а також процес впливу на обсяги або моделі (технологічні, організаційні, економічні) споживання електричної енергії кінцевими споживачами.

Сучасний ринок програмного забезпечення пропонує інструменти для управління попитом на енергоресурси, які насамперед орієнтовані на техніко-економічну оптимізацію на рівні мікромереж та інтеграції систем накопичення енергії. Провідними рішеннями у цьому сегменті є System Advisor Model (SAM) та HOMER Grid, які дозволяють детально розраховувати синергію від поєднання генерації з установками зберігання енергії. Ці програми надають можливості налаштовувати складні алгоритми диспетчеризації для зменшення пікових навантажень, оптимізації роботи за умов різних тарифів та максимізації власного споживання.

З іншого боку, для аналізу впливу управління енергоспоживанням на рівні розподільчих мереж та окремих споживачів застосовуються більш спеціалізоване програмне забезпечення, як GridLAB-D та EnergyPlus. Перший

інструмент є агентно-орієнтованим середовищем, що дозволяє моделювати вплив споживачів на цінові сигнали мережі та оцінювати загальну стабільність енергосистеми. EnergyPlus фокусується на мікрорівні, забезпечуючи високоточне моделювання енергоспоживання будівель, що дає змогу розробляти детальні сценарії зміщення пікового навантаження для кінцевих користувачів.

Для комплексного макроекономічного аналізу та верифікації результатів у масштабах підприємства чи муніципалітету вагоме місце посідає програмний комплекс RETScreen Expert. Ця платформа поєднує можливості техніко-економічного оцінювання стратегій реагування на попит із глибоким аналізом енергоефективності та інтеграцією систем зберігання енергії. Головною перевагою RETScreen є спеціалізований модуль аналізу продуктивності, який інтегрується зі супутниковими даними NASA для автоматичної нормалізації енергоспоживання за погодними умовами. Це дозволяє здійснювати точне вимірювання та верифікацію фактичного ефекту від управління попитом, відокремлюючи результати цілеспрямованого зрізання піків від впливу кліматичних факторів.

Програмне забезпечення RETScreen Expert є потужним інструментом, який має інтегровані аналітичні можливості для моделювання, оцінки та економічного обґрунтування заходів з управління попитом на енергію. Це дозволяє не лише планувати впровадження генерації, а й оптимізувати графіки споживання та знижувати навантаження на енергомережу.

RETScreen дозволяє енергоменеджерам та особам, які приймають рішення, швидко визначати, оцінювати та оптимізувати енергетичну та фінансову складову потенційних або існуючих енергетичних об'єктів. Програмна платформа слугує для прийняття управлінських рішень також дозволяє менеджерам сформулювати перелік необхідних вхідних параметрів для подальшого їх вимірювання і перевіряти фактичну продуктивність проєктних об'єктів, допомагаючи їм виявляти можливості для подальшої економії та розвитку.

Для енергоменеджменту, RETScreen Expert дозволяє автоматизувати рутинний збір даних з лічильників, датчиків та SCADA-систем у режимі реального часу. Це позбавляє енергоменеджера необхідності вручну обробляти величезні масиви показників, мінімізуючи людські помилки та звільняючи час для аналітичної роботи. Завдяки постійному моніторингу фахівець миттєво виявляє аномальні сплески споживання, витоки енергії або збої в роботі обладнання, що дозволяє оперативно реагувати на проблеми замість того, щоб виявляти їх через проміжок часу.

Алгоритми сучасних енергетичних платформ здатні не лише констатувати фактичне споживання, але й прогнозувати його, порівнювати з еталонними показниками та імітувати різні сценарії. Використовуючи вбудовані бази кліматичних даних (як-от NASA в RETScreen), техніко-економічні моделі та бібліотеки обладнання, енергоменеджер може швидко оцінити потенційну ефективність заміни застарілих котлів на теплові насоси або встановлення сонячних панелей. Така аналітика збільшує точність прийняття рішень, дозволяючи обирати проекти з найкоротшим терміном окупності та найвищою внутрішньою нормою доходності, що напряду підвищує загальну ефективність енерговикористання організації.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1. ОЗНАЙОМЛЕННЯ З ПРОГРАМНИМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ RETSCREEN

Тривалість практичної роботи – 2 год.

Мета роботи – ознайомлення з програмним забезпеченням RETScreen, та внесення початкових параметрів роботи програми.

1.1 Основні теоретичні відомості

RETScreen Clean Energy Management (RETScreen) — програмний пакет з відновлюваної енергії та енергоефективності, розроблений урядом Канади. Програма RETScreen Expert була представлена в 2016 році на Міністерській конференції з чистої енергетики у Сан-Франциско.

У цьому програмному забезпеченні інтегровано ряд баз даних, включаючи глобальну базу даних кліматичних умов, отриману з 6700 наземних станцій і супутників NASA; базу порівняльних даних; базу даних проєктів; базу гідрологічних даних і базу даних обладнання. Програмне забезпечення також містить нормативно-юридичні довідники по використанню джерел чистої енергії, а також безліч безкоштовних мультимедійних навчальних матеріалів на декількох мовах та електронний підручник.

Програмне забезпечення дозволяє комплексно ідентифікувати, оцінювати й оптимізувати технічну й фінансову життєздатність потенційних проєктів з відновлюваної енергії та енергоефективності, а також вимірювати й перевіряти фактичну ефективність об'єктів і визначати можливості зі збереження та виробництва енергії. "Режим перегляду" в RETScreen Expert надає доступ до всіх функціональних можливостей програмного забезпечення. Проте, на відміну від попередніх версій RETScreen, новий "Професійний режим" (який дозволяє

користувачам зберігати, друкувати тощо) тепер доступний на основі річної підписки.

Даний програмний інструмент дозволяє аналізувати проєкти з використанням чистої енергії на базі електронних таблиць Excel і є у вільному доступі в інтернеті [1]. Він дозволяє визначити технічну і фінансову доцільність потенційних проєктів електростанцій на джерелах відновлюваної енергії та когенерації (спільного виробництва теплоти та електроенергії), а також їх енергетичну ефективність. Користувач також може змоделювати проєкт електростанції на традиційних джерелах енергії і порівняти його з альтернативними проєктами з використанням джерел чистої енергії. Аналіз проєкту відбувається в п'ять етапів, включаючи енергетичний аналіз, аналіз витрат, аналіз викидів, фінансовий аналіз, а також аналіз ризиків і чутливості системи.

RETScreen Plus – це додаток Windows для управління об'єктами енергетики. З його допомогою керівники проєктів можуть контролювати поточні енергетичні показники своїх об'єктів.

RETScreen Expert – це нова розширена і поточна версія програмного забезпечення, яка дозволяє провести вичерпний аналіз, визначити технічну і фінансову доцільність потенційних проєктів електростанцій на джерелах відновлюваної енергії, а також їх енергетичну ефективність; оцінювати інвестиції в ході всього життєвого циклу енергооб'єкта (включаючи порівняльний аналіз, техніко-економічне обґрунтування і аналіз експлуатаційних показників) в рамках повністю інтегрованого рішення на одній програмній платформі. Крім того, за допомогою RETScreen Expert можна провести вимірювання і контроль фактичної продуктивності підприємств і визначити можливості економії/виробництва енергії.

«Режим перегляду» в RETScreen Expert безкоштовний; в ньому можна отримати доступ до всіх функцій програмного забезпечення [1].

У цьому програмному забезпеченні інтегрований ряд баз даних, включаючи глобальну базу даних кліматичних умов, отриману з 6700 наземних станцій і супутників NASA; базу порівняльних даних; базу даних проєктів; базу гідрологічних даних і базу даних обладнання. Програмне забезпечення також містить нормативно-юридичні довідники по використанню джерел чистої енергії, а також безліч безкоштовних мультимедійних навчальних матеріалів на декількох мовах та електронний підручник.

RETScreen використовувався як навчальний і дослідницький інструмент в більш ніж 700 університетах і коледжах по всьому світу, і на це програмне забезпечення часто посилаються в академічній літературі. RETScreen надає можливість професіоналам та особам, які приймають рішення, швидко визначати, оцінювати та оптимізувати технічну та фінансову життєздатність потенційних проєктів з чистої енергетики. Ця програмна платформа для прийняття рішень також дозволяє менеджерам легко вимірювати та перевіряти фактичну ефективність проєктних потужностей та допомагає знайти додаткові економії / можливості виробництва.

Після встановлення RETScreen Expert на ПК, ви зможете відшукати ярлик програми на «Робочому столі», запуск програми виконується подвійним кліком по піктограмі. Основними системними вимогами програмного комплексу є наявність інсталюваної програмної технології, яка підтримує створення та виконання веб-служб та програм Windows - Microsoft .NET Framework.

1.2 Перший запуск програми

При першому запуску програми за замовчуванням буде використовуватись англomовний інтерфейс, для зміни мови інтерфейсу на українську активуйте комірку «Language» у правому верхньому куті інтерфейсу програми та у відкритому вікні обиріть «Українська» (рис. 1.1)

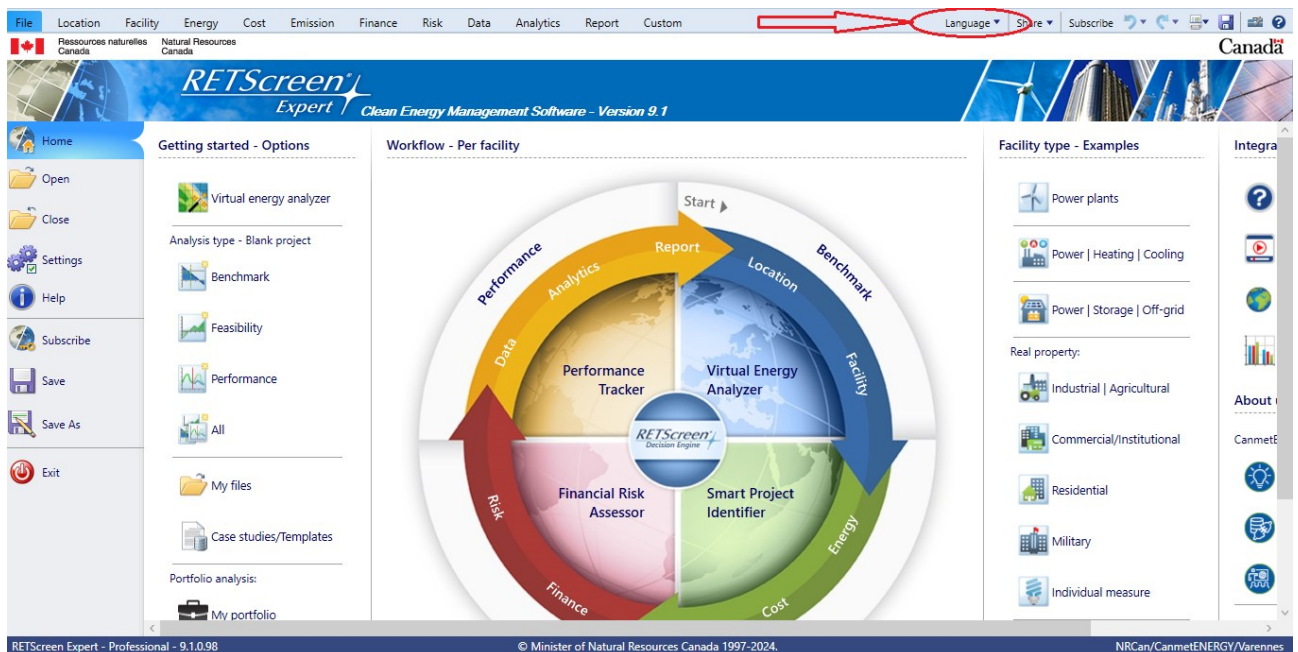


Рисунок 1.1 – Вибір мови інтерфейсу програми

Наступним кроком після завантаження програми буде встановлення ключа продукту, за його наявності. Для цього існує декілька способів:

1. Щоб активувати ключ, потрібно двічі клікнути файл ключа, і ваш новий ключ відкриється в RETScreen Expert.

Якщо активувати таким способом не вдалось, переходимо до наступного методу.

2. Збережіть файл ключа на робочому столі. Потім перейдіть на вкладку «Файл», виберіть розділ «Підписатися», натисніть «Додати програмний ключ» у нижній частині сторінки, виберіть файл ключа, який ви зберегли на робочому столі, і натисніть «Відкрити» в діалоговому вікні.(рис 1.2)

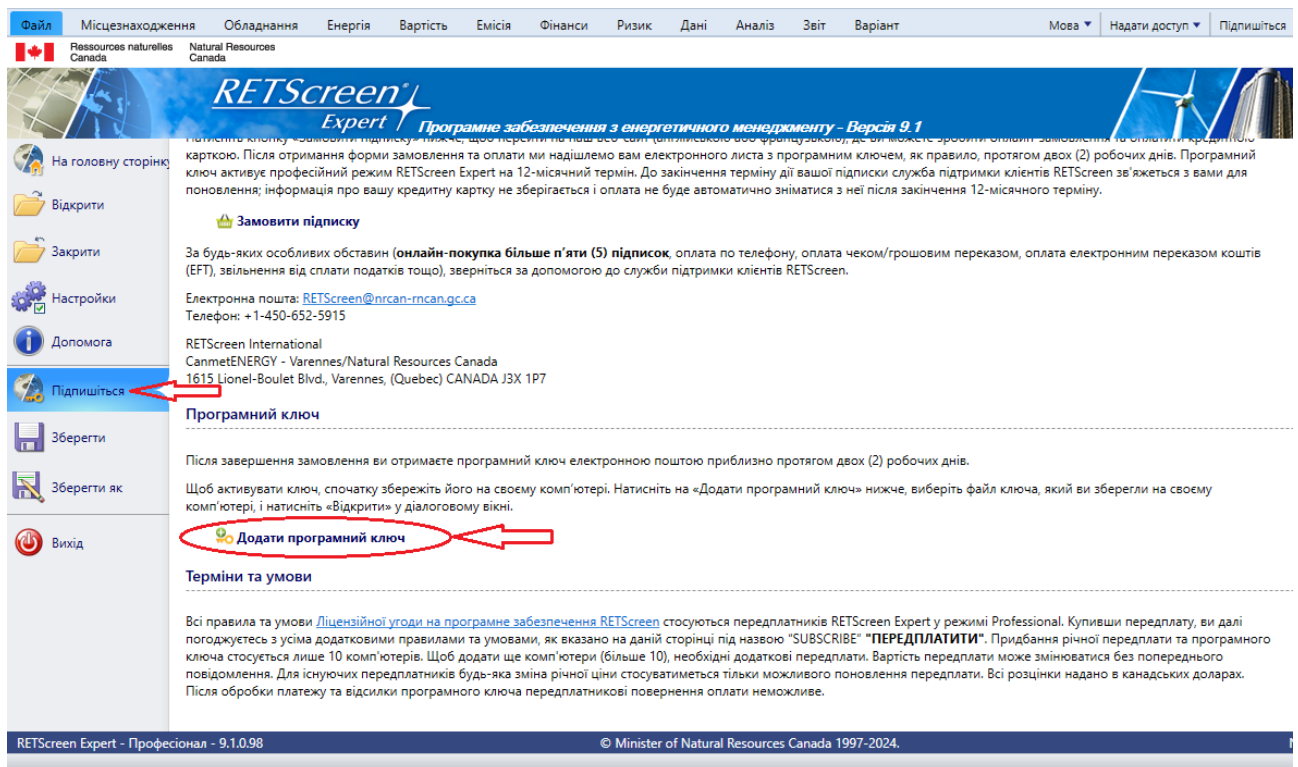


Рисунок 1.2 – Активація програми

Після активації програми відкриється доступ до повного функціоналу: зміни вихідних параметрів, створення об'єктів, і т.д.

В таблиці 1.1 наведено деякі фінансові, екологічні та інші показники, що вводилися в будь-який з зазначених нижче проєктів в програмі RETScreen. На рисунках 1.3-1.5 відповідно зазначені скриншоти з введеними показниками.

Таблиця 1.1 – Деякі фінансові, екологічні та інші показники для моделювання в RETScreen

Вкладка в RETScreen	Пункт у вкладці	Показник	Значення
«Енергія»	«Електрика та палива» (рис. 1.1)	«Вартість палива» (природний газ м ³)	15 UAH/м ³
		«Ціна на електрику»	Зелений тариф, 5,35 UAH/кВт·год (встановлений зелений тариф для кожного проєкту відповідно свій)
«Викиди» (рис. 1.2)	-	«Коефіцієнт викидів ПГ (до втрат)»	11%
«Фінанси» (рис. 1.3)	-	«Темп росту цін на палива»	6%
		«Темп інфляції» в Україні	8,2%
		«Дисконтна ставка»	14,5%
		«Строк реалізації проєкту»	25 р.
		«Коефіцієнт заборгованості»	15%
		«Темп росту експорту електроенергії»	0%

*Дані наведені в таблиці є прикладами, які слід переглядати відповідно до проєкту і діючих нормативних документів станом на час моделювання.

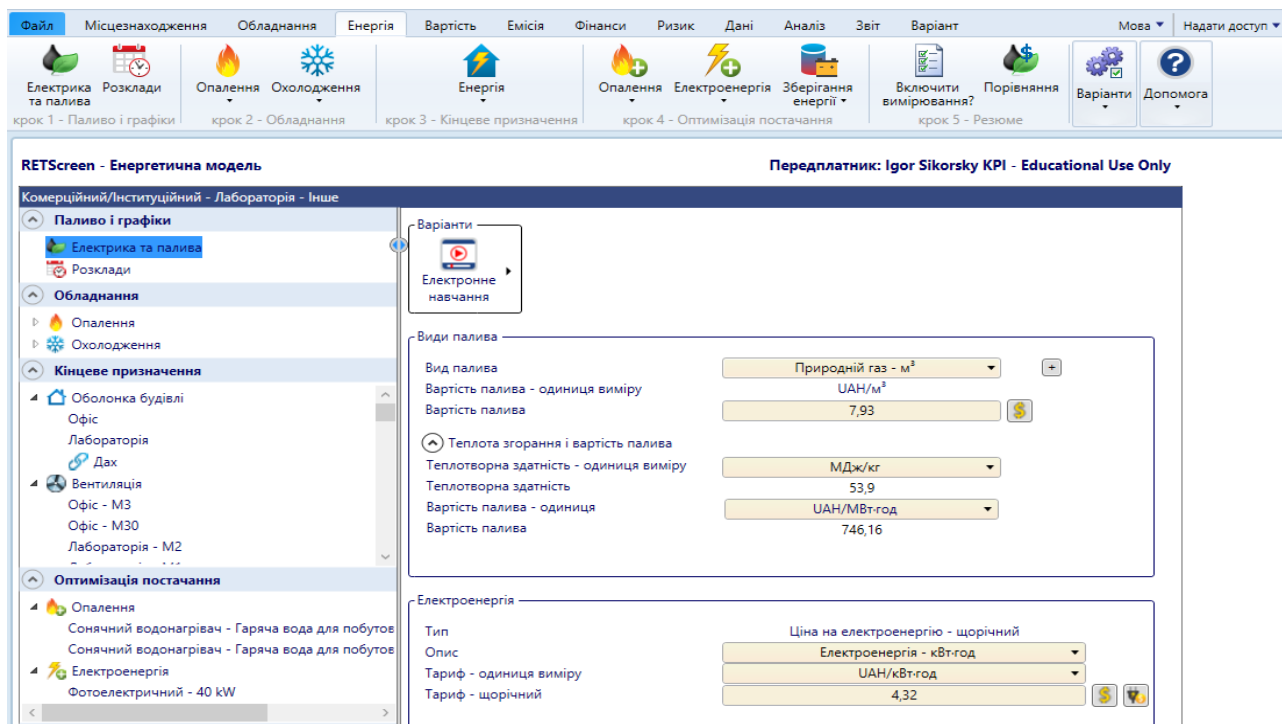


Рисунок 1.3 – Вкладка «Енергія», пункт «Електрика і палива»

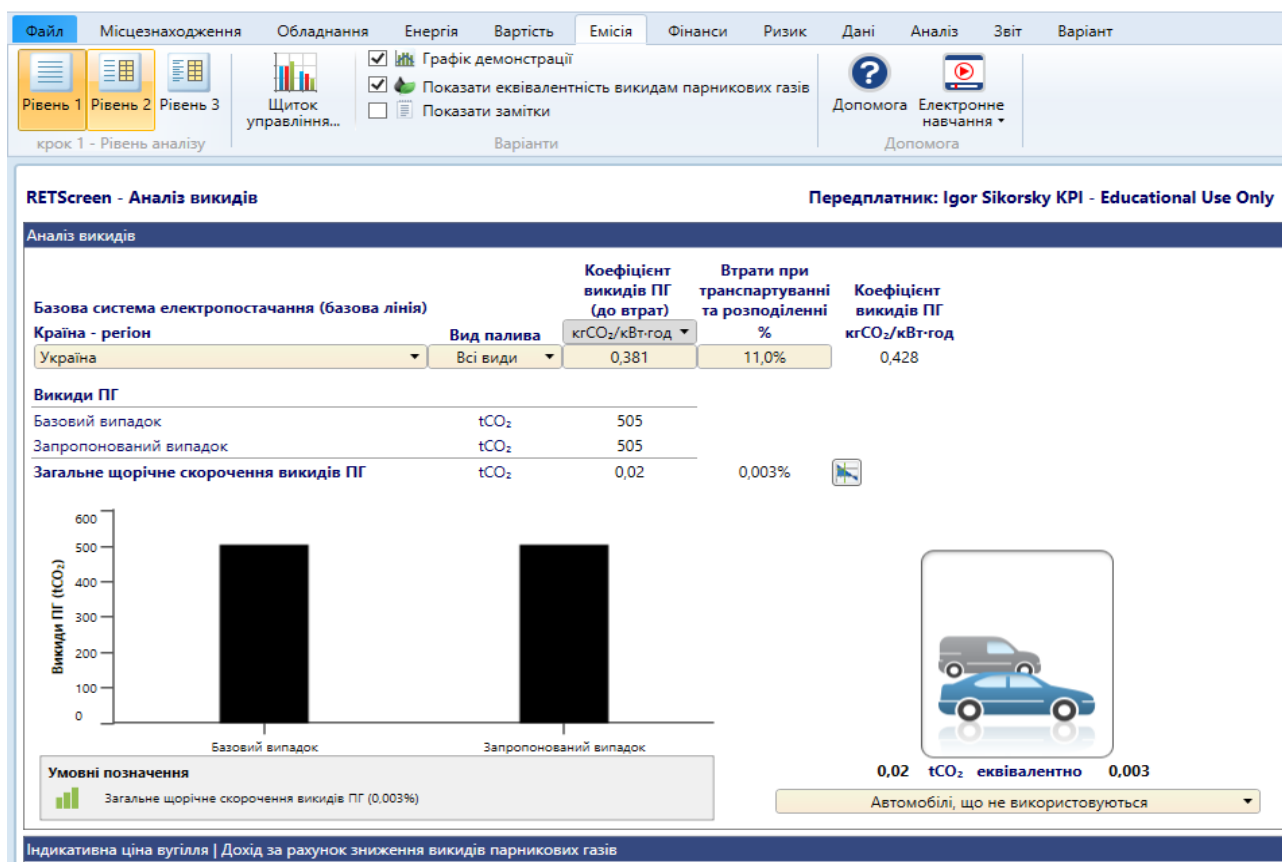


Рисунок 1.4 – Вкладка «Викиди»

Даний пункт розрахунків показує, наскільки зменшуються викиди шкідливих речовин в атмосферу від запропонованої енергоустановки в порівнянні з базовою.

Також можна порахувати додаткові прибутки за рахунок зменшення викидів парникових газів, для цього необхідно заповнити комірки жовтого кольору, де вказується ставка, строк та темп зростання ставки кредиту на зменшення парникових газів (дані беруться відповідно до умов кредитування).

RETScreen - Фінансовий аналіз

Передплатник:

Фінансові показники		
Загальні		
Темп зростання вартість на паливо	%	6%
Темп інфляції	%	8,2%
Ставка дисконту	%	14,5%
Норма реінвестування	%	9%
Строк реалізації проекту	рік	25
Фінансові		
Стимулювання і гранти	UAH	0
Коефіцієнт заборгованості	%	15%
Займовий капітал	UAH	900
Акц. капітал	UAH	5 100
Відсоткова ставка по кредиту	%	7%
Строк погашення кредиту	рік	15
Виплата заємного капіталу	UAH/рік	98,82
Аналіз податку на прибуток ☐		
Щорічна економія і дохід		
Економія скорочення ПГ		
Загальне скорочення викидів ПГ	tCO ₂ /рік	0

Витрати Збереження Дохід			
Початкові затрати			
Додаткові капітальні затрати	100%	UAH	6 000
Загальні початкові затрати	100%	UAH	6 000
Щорічний грошовий потік - Рік 1			
Щорічні затрати і виплата заємного капіталу			
Затрати на експлуатацію й обслуговування (економія)	UAH		0
Вартість палива - Запропонований випадок	UAH		4 540 296
Виплата заємного капіталу - 15 роки	UAH		99
Сумарні щорічні затрати	UAH		4 540 395
Щорічна економія і дохід			
Вартість палива - Базовий випадок	UAH		4 540 487
Економія скорочення ПГ	UAH		0
Сумарна щорічна економія і дохід	UAH		4 540 487
Чистий річний грошовий потік - Рік 1	UAH		92,1
Економічна доцільність			
BHP до сплати податків - капітал	%		4%
MIRR до сплати податків - капітал	%		6,1%
BHP до виплати податків - активи	%		2,9%
MIRR до сплати податків - активи	%		5,4%
Простий строк окупності	рік		31,4

Рисунок 1.5 – Вкладка «Фінанси»

Фінансовий аналіз призначений для визначення економічної доцільності впровадження нової енергоустановки. Програма розраховує простий термін окупності та повернення капіталу (дисконтований термін окупності), де враховується темп інфляції, і будує графік, на якому зображено сукупний потік

грошових коштів. Точка перетину графіка з горизонтальною віссю показує період, коли всі вкладені кошти повернуться до власника і скільки коштів він зможе економити на енергоресурсах в подальшому.

Для коректності графіка необхідно вказати строк реалізації проєкту, а також темп інфляції для розрахунку повернення капіталу. На цьому етапі можна визначити доцільність обраного проєкту та шукати способи підвищення його рентабельності (наприклад, залучення приватного інвестора замість банку зі ставкою за кредитом на рівні 7%). За допомогою інструменту генерації звіту – «Звіт» можна сформувати та зберегти техніко-економічне обґрунтування доцільності побудови сонячної електростанції.

1.3 Контрольні питання

1. В якій країні розроблено RetScreen?
2. Опишіть основне призначення програмного забезпечення RetScreen.
3. З яких джерел формується база даних по клімату в RetScreen?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №2. МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ БУДІВЛІ

Тривалість практичної роботи – 2 год.

Мета роботи – навчитися підбирати електричне обладнання та встановлення його характеристики роботи в середовищі програми RETScreen.

2.1 Основні теоретичні відомості

Протягом останнього десятиліття виникла проблема ефективного управління зростаючим обсягом нестабільних відновлюваних джерел енергії, таких як фотоелектричні системи, та мінливого попиту на електроенергію від нових споживачів, таких як електромобілі та індивідуальні системи зберігання енергії. Ця проблема викликає значний інтерес у високотехнологічних дослідженнях [2]. Дослідження показують, що процеси споживання енергії у домогосподарств та виробництво в житловому секторі є недостатньо дослідженими та слабо контрольованими в енергетичних системах.

На сьогодні підвищення енергоефективності в житлово-комунальному господарстві України залишається критично важливим завданням, особливо у контексті значного зносу житлового фонду та високого енергоспоживання. Більшість наявного будівельного фонду в Україні складається з багатоповерхових житлових будівель, зведених у 1960-80-х роках. Ці будівлі мають слабку теплоізоляцію, відсутність сучасних систем вентиляції та нерегульовані системи опалення. 70-80% таких будівель мають гостру потребу в термомодернізації для досягнення енергетичних стандартів.

Програми з підвищення енергоефективності розробляються, включаючи державну програму «Енергодім», що фінансується Фондом енергоефективності та пропонує підтримку для ОСББ у вигляді грантів на проведення енергетичних

заходів. На основі даних аналітичних досліджень, в рамках програми передбачено до 50% покриття вартості заходів з модернізації. Подібні ініціативи спрямовані на поступове зменшення енергетичних втрат, проте темпи реалізації залишаються повільними через бюрократичні перешкоди та недостатню обізнаність населення.

Проблема підвищення енергоефективності у будівельному фонді є надзвичайно важливою для забезпечення сталого розвитку, зменшення енергетичних витрат та зниження негативного впливу на навколишнє середовище. З огляду на значну частку будівель, які не відповідають сучасним вимогам енергозбереження, питання модернізації існуючих об'єктів набуває особливої актуальності.

Основні проблеми, що виникають при підвищенні енергоефективності в будівництві, пов'язані з високими витратами на модернізацію старих будівель та відсутністю достатньої підтримки з боку держави [3]. Існуючі будівлі, особливо старі житлові та комерційні об'єкти, зазвичай мають низькі показники енергетичної ефективності, що призводить до надмірних витрат на опалення, кондиціонування та інші енергоємні процеси. Окрім того, значною перешкодою є також відсутність комплексних рішень, що б дозволяли одночасно покращити енергоефективність і забезпечити економічну доцільність таких проектів. У цьому контексті велике значення мають сучасні методи оцінки енергетичних характеристик будівель, які дозволяють точно визначити найефективніші заходи для зниження енергоспоживання.

До того ж, важливим аспектом є роль державного регулювання, яке, на жаль, на даний момент не є достатньо ефективним. Відсутність чітких нормативів та стимулів для впровадження енергозберігаючих технологій у будівлях перешкоджає реалізації багатьох проектів [4]. Більшість нормативних актів не відповідають реальним умовам будівництва, що ускладнює їхнє виконання на практиці. Потрібно також зазначити, що інтеграція відновлювальних джерел енергії, таких як сонячні панелі та теплові насоси, може

стати важливим кроком у досягненні високих стандартів енергоефективності. Однак ці технології часто є дорогими та потребують значних початкових інвестицій, що ускладнює їхнє широке впровадження, особливо у зв'язку з економічними труднощами.

Також важливим є використання технологій для оцінки та моделювання енергоефективності будівель. Сучасні програмні засоби дозволяють створювати точні моделі енергоспоживання, що в свою чергу дозволяє краще прогнозувати вплив різних заходів на загальну енергетичну ефективність будівель. Завдяки таким інструментам можна реалізувати індивідуальні підходи до кожного об'єкта та знайти оптимальні рішення для зниження енергоспоживання [5].

В цілому, для досягнення значних результатів у сфері енергоефективності будівель необхідно комплексно підходити до вирішення цієї проблеми. Важливими аспектами є впровадження новітніх технологій, удосконалення нормативно-правової бази, а також забезпечення підтримки з боку держави і фінансових установ для реалізації енергоефективних проектів. Потрібно також стимулювати інвесторів до розробки і реалізації проектів, які сприятимуть підвищенню енергоефективності будівель, що в свою чергу дозволить зменшити витрати на енергію та знизити негативний вплив на навколишнє середовище [6].

До побутових споживачів відносяться: населення; підсобні, присадибні, індивідуальні, садові ділянки і дачі, що перебувають в особистому користуванні; гаражі для особистих машин; особисті майстерні художників і скульпторів; системи освітлення дворів, сходів і номерних ліхтарів. Це сама чисельна група СЕЕ.

Режим роботи окремих побутових споживачів та їх груп загалом не залишається сталим, їх потужність змінюється протягом доби, місяця й сезону. Відповідно, електричне навантаження є величиною, яка безперервно змінюється, тобто – одні споживачі підключаються, а інші відключаються. Окрім того, потужність електроприймачів, що підключені до електричної мережі, також змінюється на протязі часу їх роботи. Наприклад: для електродвигуна

потужність змінюється із зміною завантаження робочої машини, яку він приводить в дію; освітлювальне навантаження максимальне у вечірні години, до того ж його тривалість взимку більша, ніж влітку.

Всі ці зміни навантаження в мережі енергосистеми носять виключно випадковий характер, але для них справедливі закони ймовірності, які можуть бути встановлені із заданою точністю шляхом обробки дослідних даних. Таким чином детальне вивчення електричних навантажень споживачів є складною і самостійною задачею.

Виконайте моделювання навантаження як запропоновано в навчальному курсі:

Електрообладнання:

<https://www.youtube.com/watch?v=vLDeeXYZK-s>

2.2 Приклад моделювання

При створенні нового проєкту будівлі з навантаженнями на головній сторінці програми натискаємо на піктограму «Аналіз віртуальної енергії», після чого у вікні що відкриється вказуємо локацію та тип об'єкту моделювання, як зображено на рис. 2.1

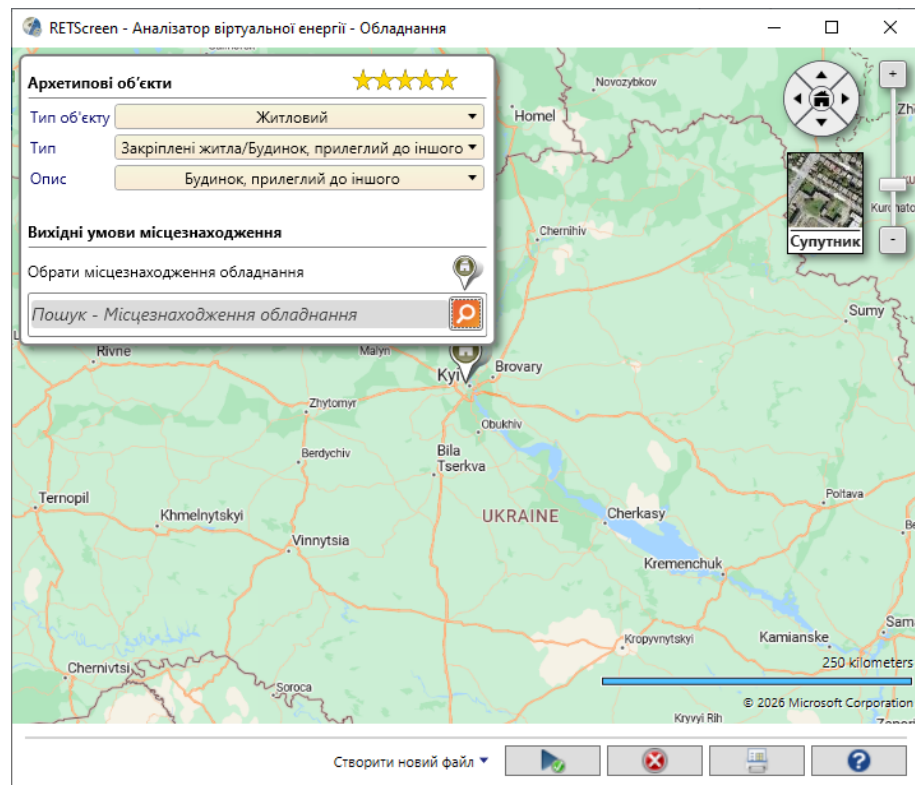


Рисунок 2.1 – Вихідні умови та місце знаходження

Після чого програма завантажить необхідні дані та переходимо на вкладку «Енергія», натискаємо на піктограму «Енергія » з запропонованого списку вибираємо позицію «Електрообладнання» (рис.2.2).

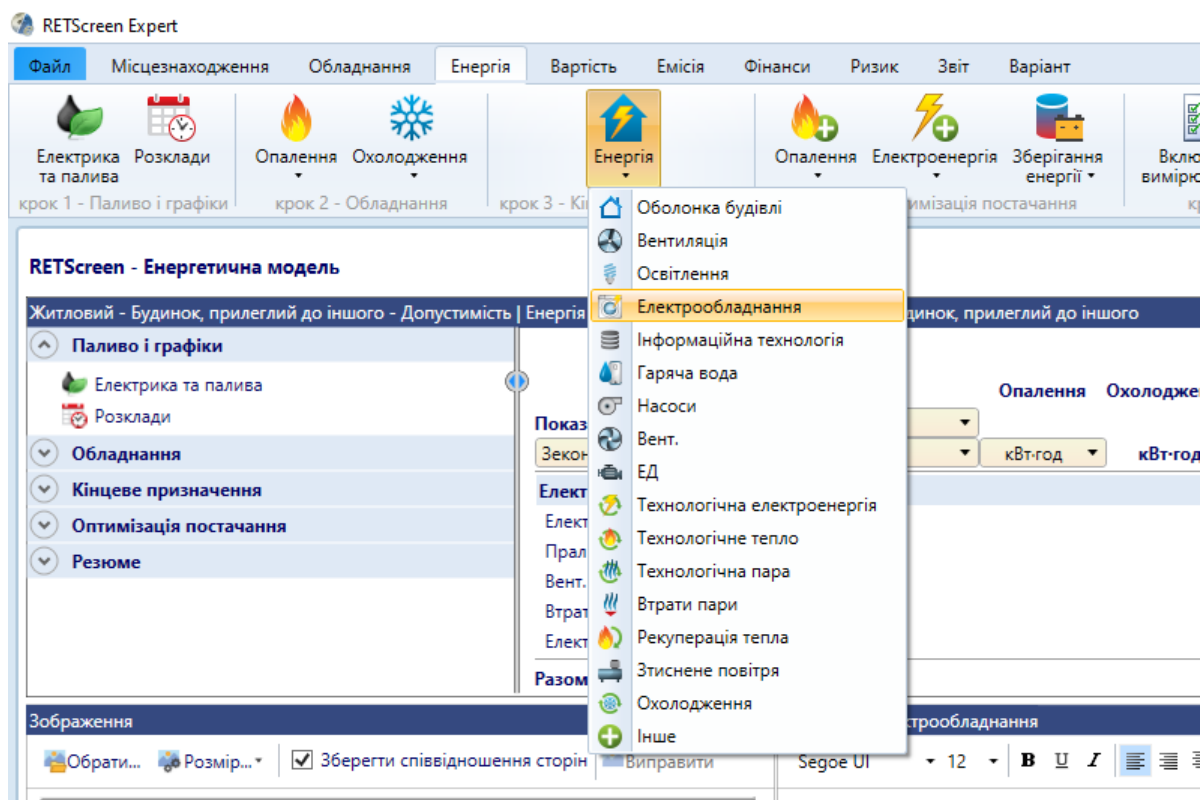


Рисунок 2.2 – Налаштування вкладки «Енергія»

Після чого, в робочому просторі програми додаємо все необхідне обладнання користуючись стандартною бібліотекою програмного забезпечення або створивши своє власне обладнання як відсутнє в базі програми (рис. 2.3).

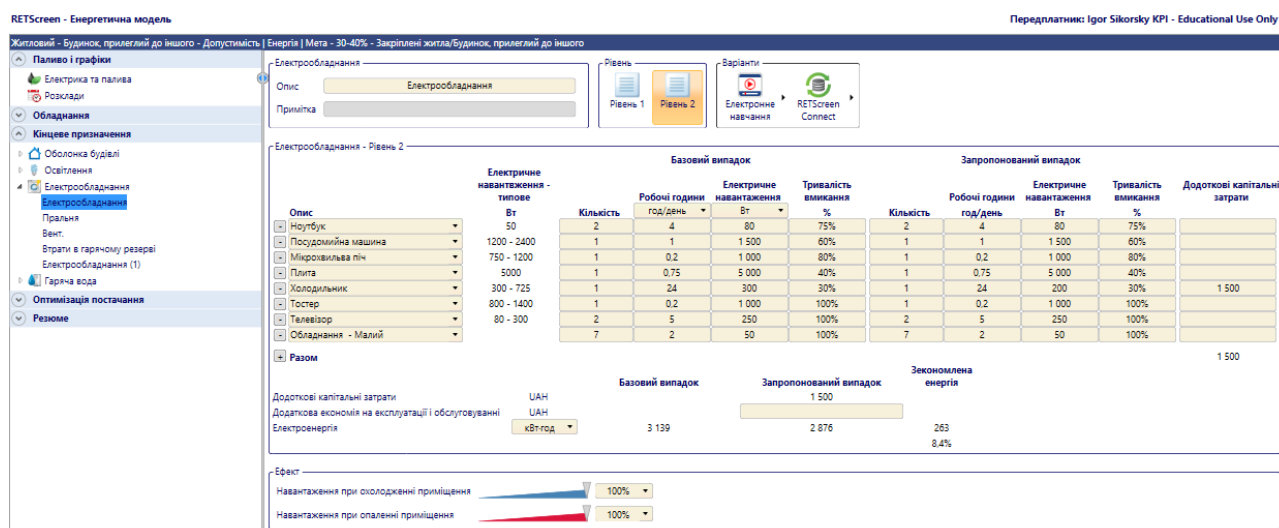


Рисунок 2.3 – Налаштування вкладки «Навантаження будівлі»

Необхідно виконати моделювання навантаження житлової будівлі з переліком енергоємного обладнання. Насоси, котли, плити, освітлення, побутове обладнання, кондиціонери і т.д. Слід використати при моделюванні неменше 10 позицій по обладнанню.

2.3 Контрольні питання

1. Кого можна назвати побутовим споживачем?
2. Які чинники впливають на зміну характеру споживання побутовим споживачем?
3. В чому основна причина некерованості побутового споживача?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №3. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Тривалість практичної роботи – 2 год.

Мета роботи – змодельовати сонячну електростанцію встановленої потужності для забезпечення енергією споживача з врахуванням кліматичних особливостей місцевості в середовищі програми RETScreen.

3.1 Основні теоретичні відомості

Сонячна енергетика - один із перспективних та прогресуючих напрямів використання енергії відновлюваних джерел, перевагою якого є можливість безпосереднього перетворення енергії сонячної радіації в електричну енергію та отримання теплової енергії. На сучасному етапі розвитку сонячної енергетики на перше місце виходять проблеми ефективного використання енергії сонячної радіації за рахунок застосування передових технологій.

Переваги енергії сонячного випромінювання, як енергетичного ресурсу порівняно із органічними видами палива, полягають у практичній невичерпності джерела енергії, можливості використання енергії сонячної радіації на більшості ділянок поверхні Землі як місцевого енергетичного джерела та у можливості безпосереднього перетворення енергії сонячної радіації в теплову та електричну енергію.

Сонячні енергетичні системи - це енергетичні установки, що перетворюють енергію сонячної радіації в інші види енергії.

Залежно від методу перетворення сонячні енергетичні системи поділяються на дві основні групи: активні та пасивні :

- активні сонячні технології перетворюють сонячну радіацію на електричну або теплову енергію. В активних енергосистемах сонячна енергія перетворюється, накопичується і транспортується в спеціальних пристроях:

- пасивні сонячні технології, які базуються на виборі та використанні матеріалів із ефективними тепловими характеристиками, вигідному розташуванні будівель відносно положення Сонця та інше. У пасивних системах приймачем служать самі об'єкти, що нагріваються.

У сучасній сонячній енергетиці можна виділити два основних практичних напрями використання енергії сонячної радіації [7]:

1) перетворення сонячної енергії в електричну енергію фотоелектричним методом перетворення або термодинамічним

2) перетворення сонячної енергії в теплову енергію, у тому числі: опалення, гаряче водопостачання, технологічні процеси.

Найбільш поширеним методом отримання електричної енергії є застосування фотоелектричного методу прямого перетворення сонячної енергії із використанням фотоелектричних перетворювачів (ФЕП). які в різних джерелах називають фотоелектричними панелями (ФП). або сонячними елементами (СЕ), або фотоелементами (ФЕ).

Виконайте моделювання СЕС як запропоновано в навчальному курсі:

Частина 1 - Огляд фотоелектричних проєктів на RETScreen Expert

<https://www.youtube.com/watch?v=6qtutYDg1y4>

Частина 2 - Енергетичне моделювання для проєктів фотоелектричної енергії в RETScreen Expert

<https://www.youtube.com/watch?v=v7NFPV5UgoU>

Частина 3 - Вибір PV модуля в RETScreen Expert

<https://www.youtube.com/watch?v=HYreAQiOKpQ>

Частина 4 - Аналіз вартості та тарифів для PV проєктів у RETScreen Expert

<https://www.youtube.com/watch?v=eGASn1Psq8E>

Потужність СЕС можна обрати довільну, від домашньої СЕС до промислової. Посилання де Ви зможете вибрати реальний об'єкт для проєктування <https://www.energo.ua/ua/assets>.

3.2 Приклад моделювання

Для моделювання даної СЕС в RETScreen першим кроком на вкладці «Місцезнаходження», а саме в підвкладці «Аналізатор віртуальної енергії» (рис. 3.1) позначаємо місце розташування, тип об'єкту (електростанція) та тип (фотоелектричний), а також зазначаємо потужність (в RETScreen є певні фіксовані значення і потрібно обрати з них те, що найближче до встановленої потужності обраного об'єкта, тобто в нашому випадку встановлена потужність складає 2000 кВт, тому обираємо найближче до нього значення, а саме – 1000 кВт).

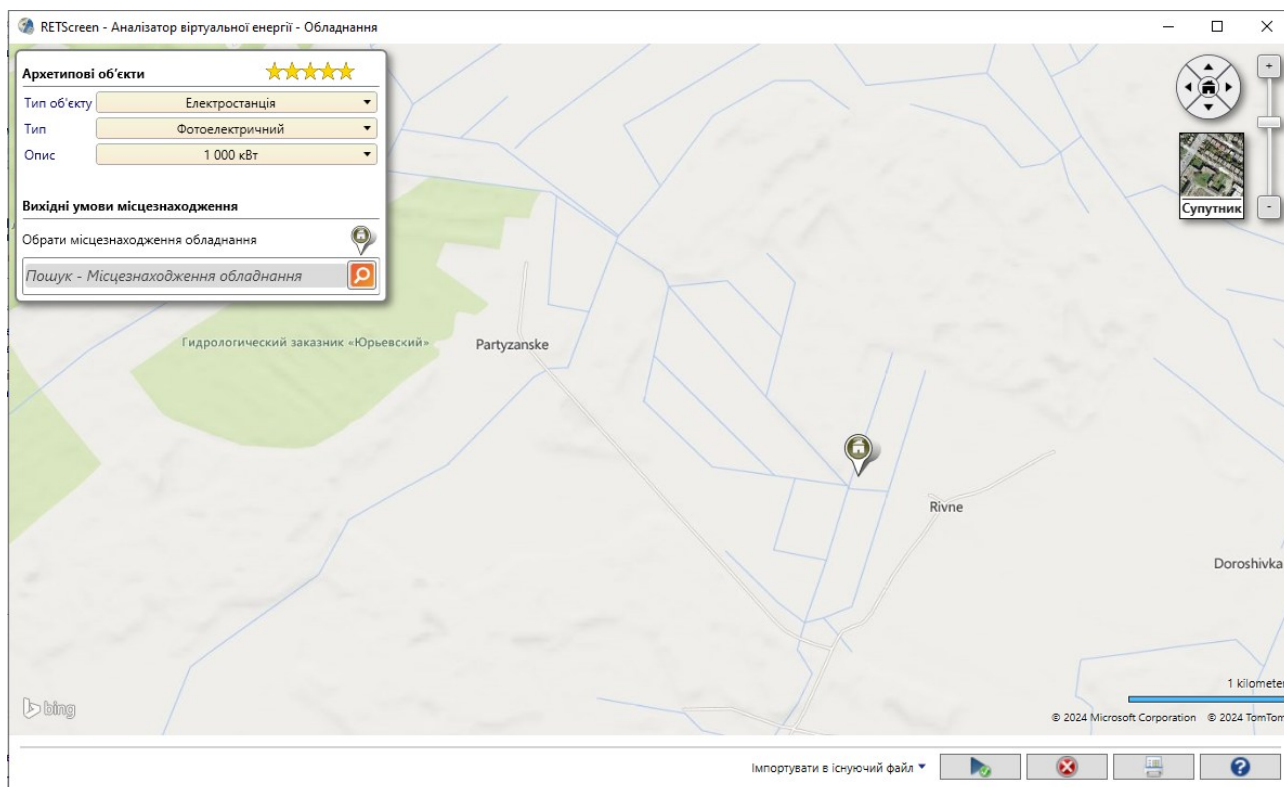


Рисунок 3.1 – Перший крок моделювання СЕС

Далі, на вкладці «Обладнання» зазначаємо всі необхідні описові характеристики обраного об'єкта (рис. 3.2).

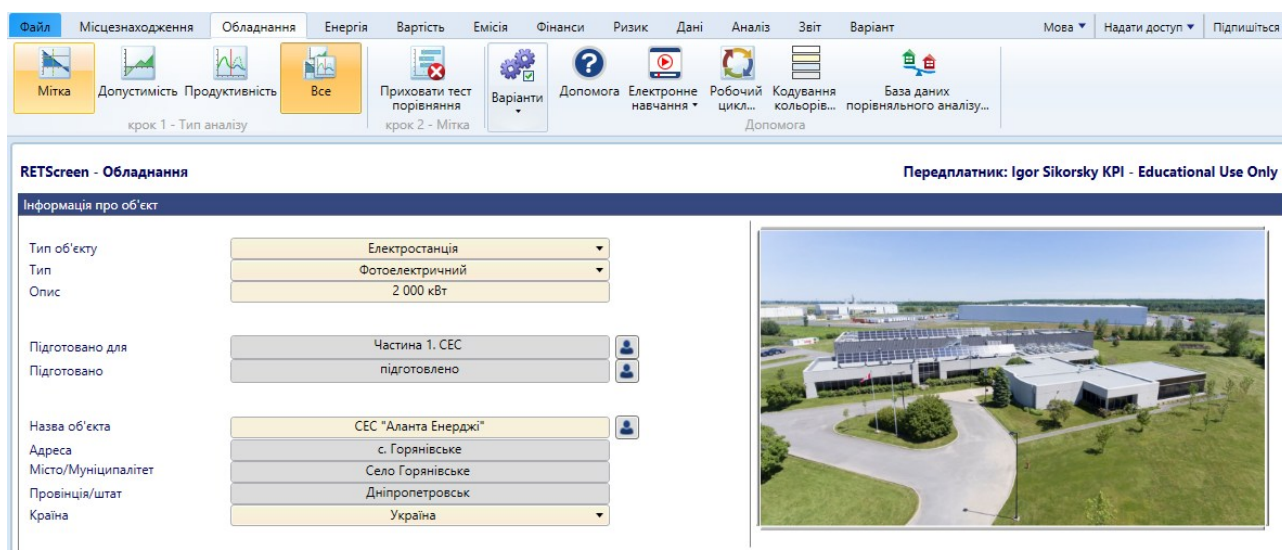


Рисунок 3.2 – Налаштування на вкладці «Обладнання»

Наступним кроком на вкладці «Енергія» вводимо всі параметри у пункті «Технологія», далі «Електроенергія», далі «Фотоелектричний» (обираємо 2 рівень аналізу) вводимо всі дані для обраного об'єкта, а саме щодо сонячних панелей та інверторів, що встановлені на об'єкті (рис. 3.3).

Заповнення характеристик комірок сонячної електростанції можна проводити двома методами (рис 3.3).

Рівень 1. Вносимо попередньо розраховану потужність електростанції, її початкові та щорічні затрати на експлуатацію для базового варіанту.

Рівень 2. Заповнюємо комірки, в яких вказуємо проєктну потужність електростанції, тип та електричну потужність обраного модуля, його положення/розташування та вартість. Необхідно врахувати встановлення інвертора для перетворення постійного струму сонячних модулів у змінний. На основі погодних даних та інформації, яка внесена користувачем, програма самостійно розраховує річну генерацію електричної енергії.

Файл Місцезнаходження Обладнання Енергія Вартість Емісія Фінанси Ризик Дані Аналіз Звіт Варіант Мова Надати доступ

Електрика та палива Електроенергія Включити систему? Види палива Щиток управління... Мета... Примітки... Показати замітки Показати зображення Копіювати - Рівень 2->3 Допомога Електронне навчання

крок 1 - Паливо і графіки крок 2 - Технологія крок 3 - Резюме Варіанти

Паливо і графіки

Електрика та палива

Технологія

Електроенергія

Фотоелектричний - 2000 кВт

Резюме

Включити систему?

Порівняння

Фотоелектричний

Опис Фотоелектричний - 2000 кВт

Примітка

Рівень 1 Рівень 2

Електронне навчання RETScreen Connect

Фотоелектричний - Рівень 2

Оцінка ресурсів

Режим слідування за сонцем Зафіксоване

Нахил 50

Азимут 0

Показати дані

Фотоелектричний

Тип Полікремний

Електрична потужність кВт 2 000

Виробник

Модель

Кількість одиниць 7 800

ККД % 16,05%

Звичайна робоча температура елемента °C 45

Температурний коефіцієнт % / °C 0,4%

Площа сонячного колектора м² 12 461

Поправочний коефіцієнт біфациальних клітин % 0%

Інші втрати % 15%

Інвертор

ККД % 95%

Потужність кВт 900

Інші втрати % 1%

Резюме

Коефіцієнт потужності % 10,4%

Початкові затрати UAH/кВт 1 600

Затрати на експлуатацію й обслуговування (економія) UAH 3 200 000

Ціна на експортовану електроенергію UAH/кВт-рік 19

Ціна на експортовану електроенергію UAH 38 000

Ціна на експортовану електроенергію - u

Електроенергія, що передається в мережу UAH/кВт-год 0,10

Прибуток від експорту електроенергії MВт-год 1 825

Прибуток від експорту електроенергії UAH 182 519

Рисунок 3.3 – Налаштування на вкладці «Енергія»

Режим слідування за сонцем. Обираємо «Зафіксоване». Інші режими потребують додаткових капітальних затрат, але збільшують кількість сприйнятої сонячної радіації.

Нахил. В комірку «Нахил» вводимо значення кута нахилу сонячних модулів (СМ) до горизонтальної поверхні в градусах. При встановленні панелей на плоский дах є можливість обирати кут нахилу для максимального вироблення електричної енергії в залежності від географічного розташування та пори року (взимку сонце знаходиться в середньому нижче, ніж влітку, а сонячні модулі повинні бути розташовані перпендикулярно сонцю).

Азимут. Азимут – кут між проекцією на горизонтальну поверхню нормалі до площини СМ і напрямом на південь (знак не має значення). Бажана орієнтація СМ – на південь, коли кут азимута – 0° у північній півкулі і 180° в південній півкулі.

Фотоелектричний перетворювач. Існують різні типи фотоелектричних перетворювачів (ФЕП). Найбільшого поширення в фотоелектричних установках наземного застосування отримали кремнієві ФЕП трьох видів: на основі монокристалічного, полікристалічного і тонкоплівкові з аморфного кремнію. Велика частина всіх модулів виробляється з використанням полі- і монокристалічного кремнію.

Основні типи ФЕП:

- монокристалічні кремнієві;
- полікристалічні (мультикристалічні) кремнієві;
- тонкоплівкові з гідрогенізованого аморфного кремнію та інших напівпровідникових матеріалів (телуриду/сульфату кадмію, арсеніду галію тощо);
- багатоперехідні сонячні елементи (гетерофотоелементи).

ККД ФЕП становить:

- багатоперехідних сонячних елементів – до 35% [8];
- з монокристалічного кремнію від 14-19 до 21,5%;
- з полікристалічного кремнію – 14-17%;
- з аморфного кремнію – близько 5-8%.

Для підвищення ефективності перетворення сонячної енергії використовують концентратори та двосторонні сонячні елементи. Обирають тип і модель сонячних перетворювачів виходячи з їх наявності на ринку та ціни (максимальна ефективність та мінімальна вартість).

Доступні моделі для України з найвищими показниками – фотоелектричний перетворювач Risen або ABi-Solar з монооксиду кремнію потужністю 320 Вт. У базі даних RETScreen є схожа модель RSM60-6-280MDG/4BB потужністю

280Вт. Модель і виробника обираємо з каталогу обладнання за допомогою кнопки «Див. базу даних обладнання», що знаходиться в правій частині вікна (рис 3.3). Кількість встановлених одиниць розраховується виходячи з наявної площі для розміщення та фінансових можливостей для побудови станції.

Якщо СМ встановлюються на стіні, то їх загальна площа не повинна перевищувати поверхні, доступної на стіні. Для систем на даху розмір не повинен перевищувати приблизно половину загальної площі даху через можливе затінення. Для наземних систем розмір обмежується лише наявною площею землі. Для більш точного розрахунку необхідно оцінювати рівень взаємного затінення панелей в обраний період року для даної місцевості.

Для кількісної оцінки можливості встановлення сонячних панелей необхідно заміряти наявну площу для розміщення. Це можна зробити вимірами на місці або за допомогою картографічних сервісів [9].

Звичайна робоча температура модуля

Модель обчислює робочу температуру, °С, комірки (NOCT). Вона визначається як температура поверхні модуля під впливом сонячного випромінювання у 800 Вт/м², швидкості вітру 1 м/с, температурі навколишнього середовища 20 °С і без навантаження.

Температурний коефіцієнт

Для оцінки ефективності панелі програма обчислює температурний коефіцієнт μ фотовольтаїчного модуля. Ефективність фотоелементів змінюється залежно від температури. Більшість типів комірок демонструють зниження ефективності в міру підвищення температури. ККД СМ з урахуванням температурного коефіцієнта μ , %/°С, визначається як:

$$\eta_{CM} = \eta_{ref} \cdot (100 - \mu(T - T_{ref})),$$

де:

η_{CM} – ККД сонячного модуля при температурі T ,

η_{ref} – ККД сонячного елемента при температурі T_{ref} ,

T – температура модуля,

T_{ref} – стандартна температура сонячного елемента (зазвичай, 25 °C).

Значення μ залежить, насамперед, від типу комірки. Часто досить важко знайти це значення в таблицях даних виробника, тому, за відсутності цієї інформації, можуть використовуватися значення за замовчуванням, знайдені в таблиці номінальної ефективності СМ.

Наступним кроком є заповнення листа «Аналіз затрат», який складається з декількох розділів в залежності від обраного проекту.

Побудова СЕС передбачає початкові витрати та періодичні. До початкових затрат увійдуть:

- створення проекту підключення станції;
- купівля сонячних модулів та інверторів;
- купівля або виробництво конструкції;
- роботи з встановлення на запуску обладнання.

Для плаского даху конструкція під СМ повинна забезпечувати заданий кут нахилу сонячної панелі до горизонту та мати необхідні міцнісні характеристики, бути захищеною від корозії і достатньо важкою, щоб протистояти поривам вітру, та не повинна псувати дах.

Проект підключення, окрім всіх необхідних для цього розрахунків, передбачає купівлю додаткової потужності від енергопостачальної компанії у випадку продажу надлишкової електричної енергії у мережу. Інші дані заповнюються з прайс-листів матеріалів та послуг в Україні.

Приклад заповненої вкладки «Вартість» показано на рисунку 3.4.

Для обслуговування великої електричної станції необхідно мінімум два працівника.

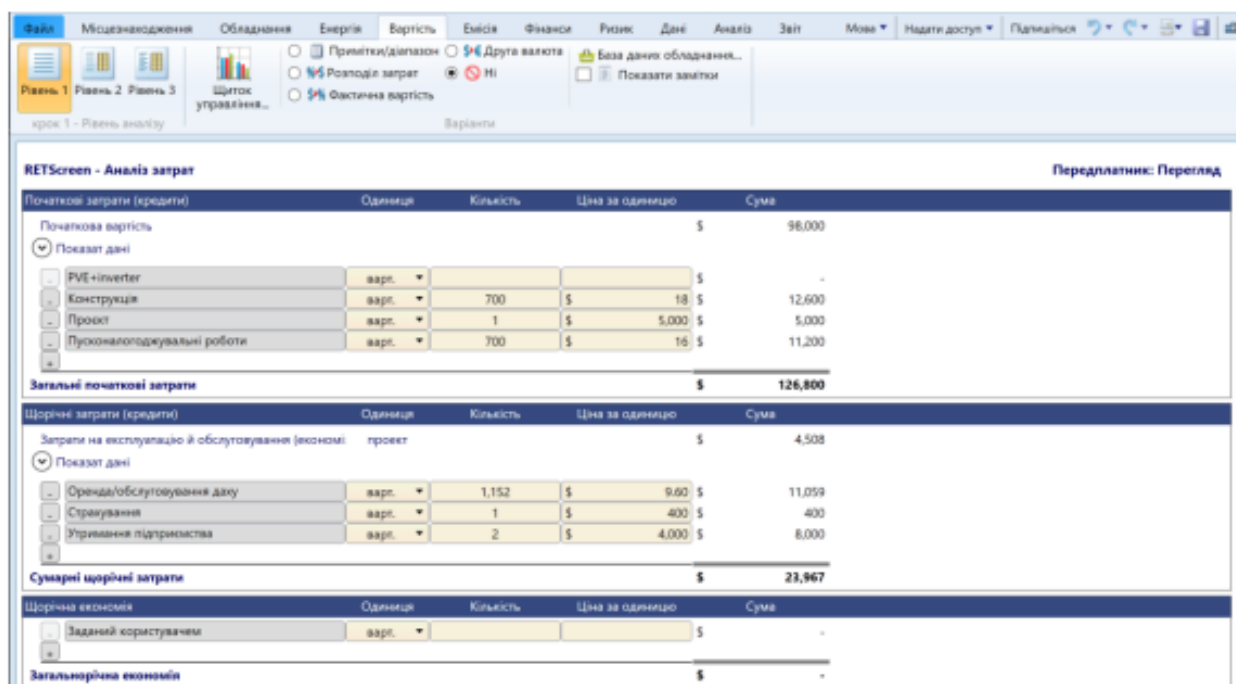


Рисунок 3.4 – Налаштування на вкладці «Вартість»

Наступним кроком є заповнення листа «Аналіз викидів»

Аналіз викидів

Даний пункт розрахунків показує, наскільки зменшуються викиди шкідливих речовин в атмосферу від запропонованої енергоустановки в порівнянні з базовою. Також можна порахувати додаткові прибутки за рахунок зменшення викидів парникових газів, для цього необхідно заповнити комірки жовтого кольору, де вказується ставка, строк та темп зростання ставки кредиту на зменшення парникових газів (дані беруться відповідно до умов кредитування).

Отже, на вкладці «Викиди» змінюємо тільки параметр «Втрати при транспортуванні та розподіленні», який складає для нашої країни 11% станом на 2026 рік (рис. 3.5).

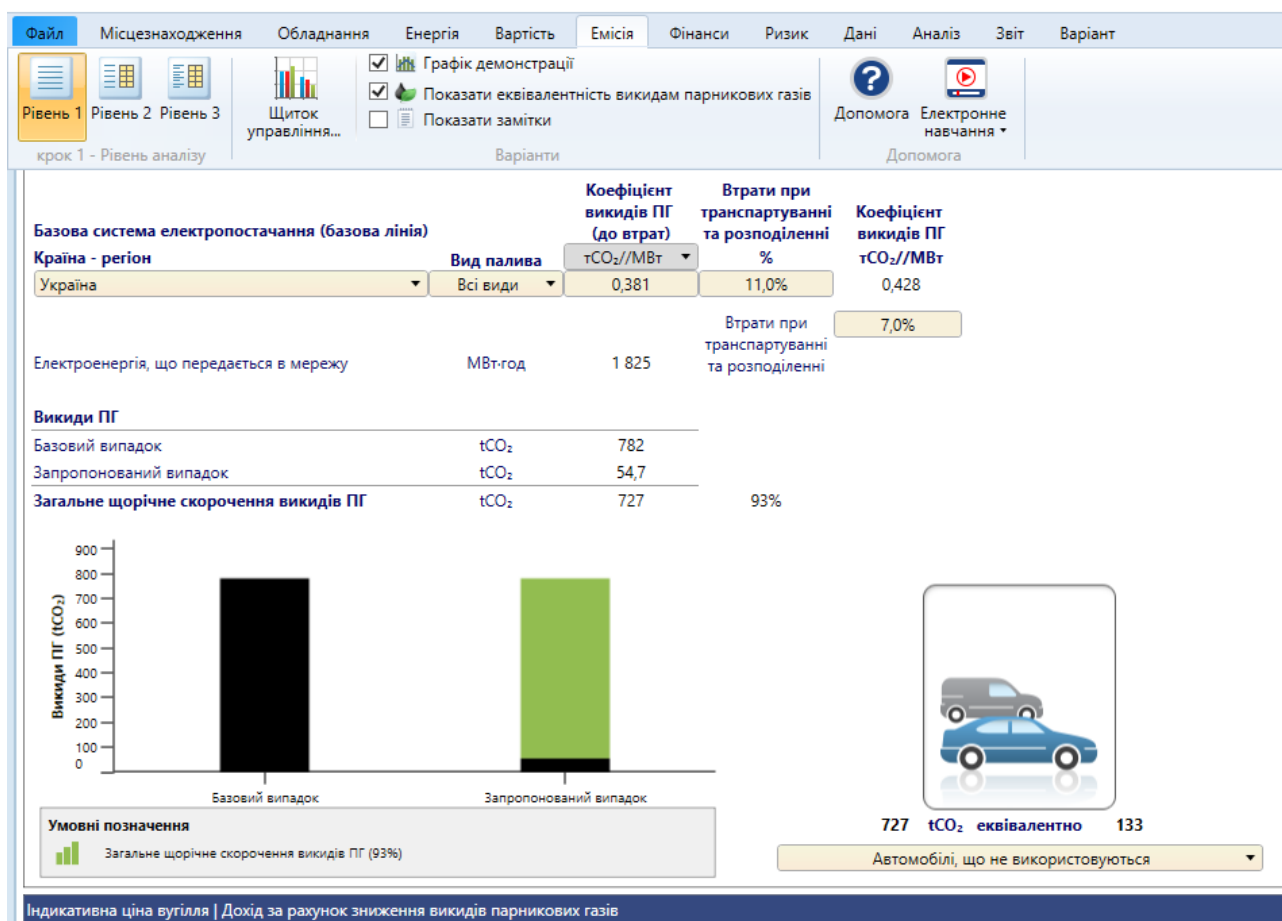


Рисунок 3.5 – Налаштування на вкладці «Емісія»

Фінансовий аналіз

Фінансовий аналіз призначений для визначення економічної доцільності впровадження нової енергоустановки. Програма розраховує простий термін окупності та повернення капіталу (дисконтований термін окупності), де враховується темп інфляції, і будує графік, на якому зображено сукупний потік грошових коштів. Точка перетину графіка з горизонтальною віссю показує період, коли всі вкладені кошти повернуться до власника і скільки коштів він зможе економити на енергоресурсах в подальшому.

Для коректності графіка необхідно вказати строк реалізації проєкту, а також темп інфляції для розрахунку повернення капіталу (рис. 3.8). На цьому етапі можна визначити доцільність обраного проєкту та шукати способи підвищення його рентабельності (наприклад, шукати приватного інвестора замість банку зі

ставкою за кредитом на рівні 7%). За допомогою інструменту генерації звіту – «Звіт» можна сформувати та зберегти техніко-економічне обґрунтування доцільності побудови сонячної електростанції (див. рис 3.9).

Наступним кроком є налаштування на вкладці «Фінанси» (обираємо рівень 2 аналізу), але так як в 1 пункті даного документу зроблено таблицю щодо всіх показників, то просто ще раз вставляємо скріншот з введеними значеннями (рис. 3.6).

RETScreen - Фінансовий аналіз

Фінансові показники

Загальні

Темп зростання вартість на паливо	%	6%
Темп інфляції	%	8,2%
Ставка дисконту	%	14,5%
Норма реінвестування	%	9%
Строк реалізації проекту	рік	25

Фінансові

Стимулювання і гранти	UAH	0
Коефіцієнт заборгованості	%	15%
Займовий капітал	UAH	900
Акц. капітал	UAH	5 100
Відсоткова ставка по кредиту	%	7%
Строк погашення кредиту	рік	15
Виплата заємного капіталу	UAH/рік	98,82

Аналіз податку на прибуток ☐

Щорічна економія і дохід

Економія скорочення ПГ

Загальне скорочення викидів ПГ	тCO ₂ /рік	0
--------------------------------	-----------------------	---

Витрати | Збереження | Дохід

Початкові затрати

Додаткові капітальні затрати	100%	UAH	6 000
Загальні початкові затрати	100%	UAH	6 000

Щорічний грошовий потік - Рік 1

Щорічні затрати і виплата заёмового капіталу

Затрати на експлуатацію й обслуговування (економія)	UAH	0
Вартість палива - Запропонований випадок	UAH	4 540 296
Виплата заёмного капіталу - 15 роки	UAH	99
Сумарні щорічні затрати	UAH	4 540 395

Щорічна економія і дохід

Вартість палива - Базовий випадок	UAH	4 540 487
Економія скорочення ПГ	UAH	0
Сумарна щорічна економія і дохід	UAH	4 540 487

Чистий річний грошовий потік - Рік 1 **UAH 92,1**

Економічна доцільність

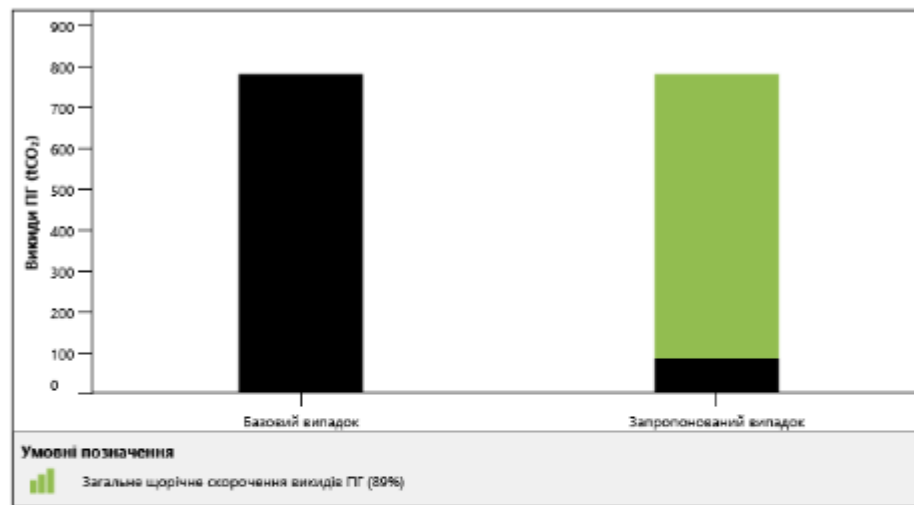
BNP до сплати податків - капітал	%	4%
MIRR до сплати податків - капітал	%	6,1%
BNP до виплати податків - активи	%	2,9%
MIRR до сплати податків - активи	%	5,4%
Простий строк окупності	рік	31,4

Рисунок 3.6 – Налаштування на вкладці «Фінанси»

Завершальним етапом, підведемо підсумки даного моделювання СЕС «Аланта Енерджі» в RETScreen. Для цього із звіту, який видає сам RETScreen (він знаходиться на вкладці «Звіт») представимо скріншоти з результатами (рис. 3.7-3.9).

Викиди ПГ

Викиди ПГ



Кількість викидів ПГ

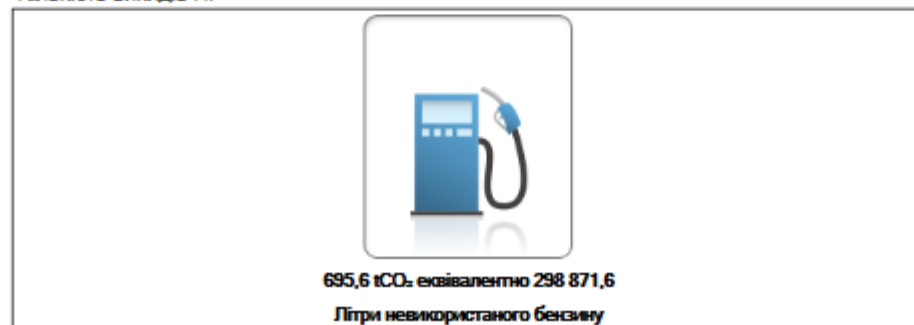


Рисунок 3.7 – Інформація щодо викидів парникових газів

Економічна доцільність

Фінансові показники

Загальні			
Темп інфляції	%		8,2%
Ставка дисконту	%		14,5%
Норма реінвестування	%		9%
Строк реалізації проекту	рік		25
Фінансові			
Коефіцієнт заборгованості	%		15%
Займовий капітал	UAH		5 809 213
Акц. капітал	UAH		32 918 875
Відсоткова ставка по кредиту	%		7%
Строк погашення кредиту	рік		15
Виплата заємного капіталу	UAH/рік		637 820

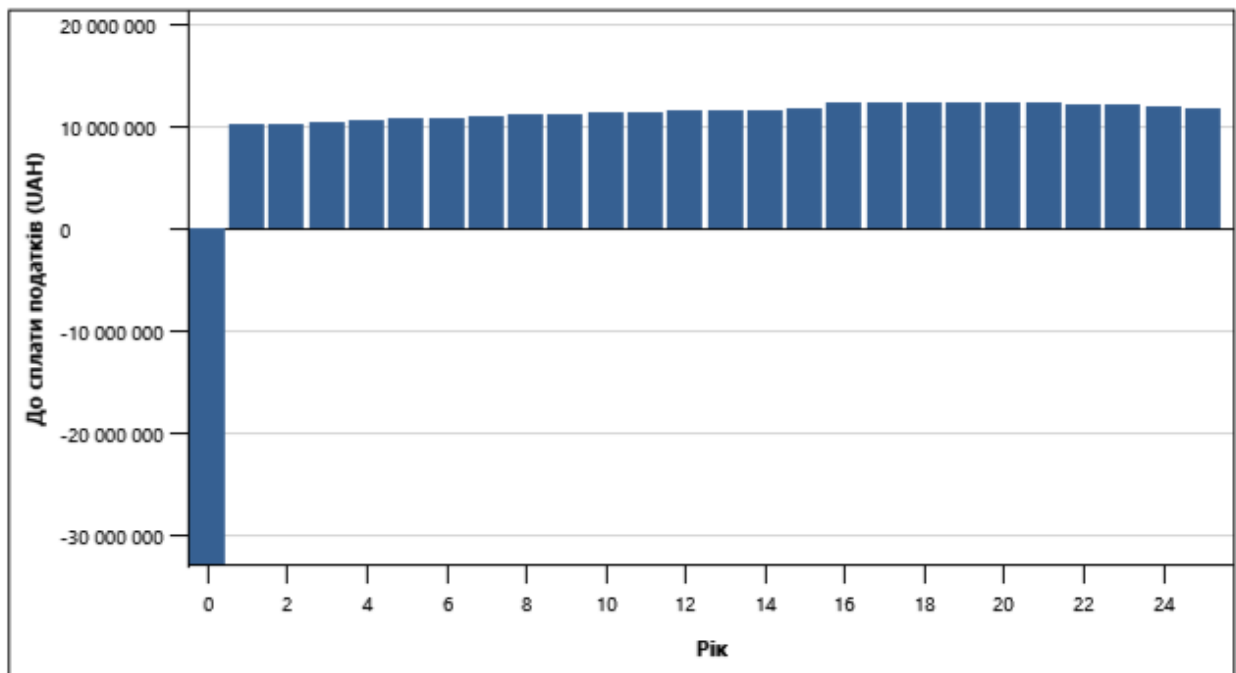
Щорічна економія і дохід

Прибуток від експорту електроенергії			
Електроенергія, що передається в мережу	МВт·год		1 825
Ціна на експортовану електроенергію	UAH/ кВт·год		6,39
Прибуток від експорту електроенергії	UAH		11 662 976
Темп росту експорту електроенергії	%		2%

Рисунок 3.8 – Економічна доцільність даного проекту

Грошовий потік

Щорічний



Сукупний

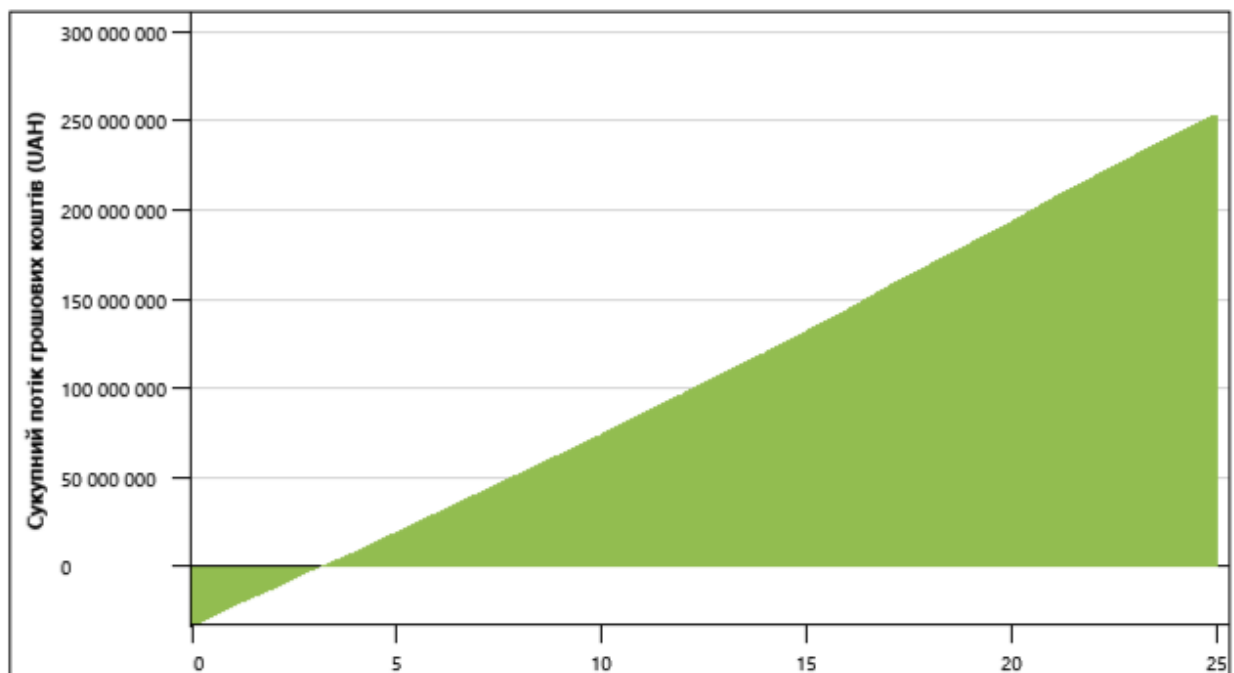


Рисунок 3.9 – Грошовий потік

Отже, в результаті моделювання даної СЕС було отримано такі основні показники, як:

- вартість виробництва енергії становить 6,39 грн/кВт год;
- щорічне зменшення викидів становить 298871 л. невикористаного бензину.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для моделювання

№	Назва СЕС	Встановлена потужність, МВт	Зелений тариф, Євроцент / кВт·год	Дата отримання зеленого тарифу
1	СЕС Комишувате	1,045	15,03	Червень 2018
2	ФЕС Теплодар	8,839	15,03	Лютий 2018
3	СЕС Азов Солар	0,999	15,03	Листопад 2018
4	ФЕС Аланта-Енерджі 1 черга	1,134	15,03	Серпень 2018
5	СЕС Обухівська черга 2	1,17	15,03	Березень 2019
6	СЕС Добрівляни	5,836	15,03	Жовтень 2018
7	СЕС Добрівляни 2	10,122	15,03	Листопад 2019
8	СЕС Любашівська	4,03	15,03	Серпень 2018
9	СЕС Залізничне	34,14	25,85	Квітень 2013
10	СЕС Брислав	8,25	15,03	Січень 2019
11	СЕС Нерубайська	0,08	30,53	Листопад 2015
12	СЕС Балахівка	9,3	15,3	Вересень 2018
13	Писарівська СЕС	0,8	15,99	Вересень 2016
14	СЕС Ріпна Солар	2,9	15,03	Березень 2019
15	СЕС Калинівська	13,58	15,03	Березень 2019
16	СЕС Зайчівське	5,12	15,03	Грудень 2018

Подовження таблиці 3.1

17	СЕС Березанка	53,4	15,03	Лютий 2014
18	СЕС Ганська	19,09	15,03	Лютий 2019
19	СЕС голендра	3,03	15,03	Лютий 2019
20	ФЕС Іванівка	3,08	15,99	Листопад 2016
21	Вільшанська СЕС	3,56	15,03	Грудень 2018
22	СЕС Гута -3	5,5	15,03	Січень 2019
23	СЕС Пороги	4,5	46,53	Грудень 2012
24	СЕС Зіньківська	11,3	15,03	Грудень 2018
25	СЕС Яришів	6,23	15,03	Лютий 2019

3.3 Контрольні питання.

1. Чи залежить ефективність функціонування фотоелектричного модуля від його температури?
2. В чому полягає принцип дії напівпровідникових фотоелементів?
3. Які матеріали використовуються для виготовлення фотоелектричних елементів?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №4. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ МАЛОЇ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Тривалість практичної роботи – 2 год.

Мета роботи – підібрати оптимальний склад обладнання малої гідроелектростанції. Провести аналіз витрат при встановленні та економічну доцільність проєкту. Визначити потенціал покриття споживання електричної енергії для різних груп споживачів.

4.1 Основні теоретичні відомості

Гідроелектростанція (ГЕС)- це сукупність споруд і устаткування, призначених для перетворення механічної енергії потоку води в електроенергію [7]. Гідроелектростанції характеризуються високою ефективністю перетворення наявних гідроенергетичних ресурсів в електроенергію. Коефіцієнт корисної дії знаходиться у межах 70-90 %, іноді ще вище.

Мікрогідроелектростанція - електрична станція, що виробляє електричну енергію за рахунок використання гідроенергії, встановлена потужність якої не перевищує 200 кВт;

Мінігідроелектростанція - електрична станція, що виробляє електричну енергію за рахунок використання гідроенергії, встановлена потужність якої становить більше 200 кВт, але не перевищує 1 МВт;

Мала гідроелектростанція - електрична станція, що виробляє електричну енергію за рахунок використання гідроенергії, встановлена потужність якої становить більше 1 МВт, але не перевищує 10 МВт;

Гідроенергетика відноситься до освоєних способів виробництва електроенергії без використання викопного органічного і ядерного палива, та має досить прогнозований відновлюваний енергоресурс, найменшу собівартість

серед традиційних та більшості нетрадиційних технологій, унікальні маневрові й мобільні властивості, характеризується значним експлуатаційним ресурсом. Висока маневреність ГЕС сприяє вирішенню складних завдань регулювання електропостачання споживачам у об'єднаній енергосистемі та забезпечення її стійкості з врахуванням графіків нерівномірного навантаження, підвищення надійності, безпеки та ефективності виробництва.

Гідроелектростанції будь-якої потужності впливають на економічний та соціальний розвиток прилеглих територій завдяки створенню умов для водопостачання населених пунктів і господарств, судноплавства, рекреацій, риборозведення, зрошення. Ще одна позитивна властивість ГЕС полягає в можливій участі гідроелектростанції в системі керованого захисту територій від повеней. В Україні накопичено унікальний досвід у цьому питанні.

Згідно Закону України «Про альтернативні джерела енергії» до об'єктів альтернативної енергетики відноситься мала гідроенергетика. Освоєння потенціалу малих річок з використанням малих гідроелектростанцій (МГЕС) допомагає вирішити проблему покращення енергозабезпечення споживачів.

Малими ГЕС зазвичай вважаються гідротехнічні об'єкти з встановленою потужністю до 10 МВт (у деяких країнах до 30 МВт). Для цілей інтеграції в системи управління попитом їх доцільно класифікувати за здатністю до акумулювання гідроресурсу:

1. Дериваційні та руслові ГЕС без регулювання. Ці станції не мають значних водосховищ. Їхня генерація жорстко прив'язана до поточного водного запасу річки. Здатність до класичного управління попитом у них обмежена, проте вони можуть використовуватися як стабільне базове навантаження для локальних промислових об'єктів, зменшуючи загальну потребу підприємства в енергії з об'єднаної енергосистеми.

2. ГЕС з добовим або тижневим регулюванням: Наявність невеликого водосховища (дериваційного басейну) дозволяє накопичувати воду в години

низького попиту (наприклад, вночі) і спрацьовувати її під час пікових навантажень. Це ідеальний актив для реалізації стратегій зсуву навантаження .

3. Малі гідроакумуючі електростанції (Мікро-ГАЕС). Спеціалізовані об'єкти, що мають верхній і нижній резервуари. Вони здатні не лише генерувати енергію під час піків, але й споживати її в нагосному режимі з мережі в моменти надлишку генерації або низьких цін, виступаючи ідеальним інструментом DSM.

Гнучкість МГЕС сильно залежить від типу турбіни. Для ефективної участі в програмах реагування на попит турбіна повинна мати високий коефіцієнт корисної дії (ККД) при часткових навантаженнях:

- Турбіни Пелтона (Pelton). Використовуються на великих напорах. Мають відмінний ККД у широкому діапазоні навантажень (від 20% до 100%), що робить їх чудовими для швидкого маневрування.

- Турбіни Френсіса (Francis). Середні напори. Оптимальні при стабільному навантаженні, але їхній ККД різко падає при завантаженні нижче 40-50%. Менш придатні для глибокого маневрування.

- Турбіни Каплана (Kaplan). Низькі напори. Завдяки поворотному механізму лопатей робочого колеса зберігають високий ККД у дуже широкому діапазоні витрат води, що робить їх оптимальними для управління змінним попитом.

У світі немає спільного стандарту щодо визначення малих ГЕС. Наприклад, у Португалії, Іспанії і Ірландії верхня межа становить 10 МВт, в Італії прийнято 3 МВт, у Швеції – 1,5 МВт, а в Польщі – 5 МВт. У Китаї до малих належать ГЕС потужністю до 50 МВт. Розподіл за класифікацією загальної встановленої потужності гідроелектростанцій у світі наведено в таблиці 4. 1.

Втім, річне зростання виробництва гідроенергії дещо сповільнилося за останні роки внаслідок меншої кількості потенціальних проєктів та зменшення кількості гідроенергетичних ресурсів у зв'язку із зміною клімату. Споруджується велика кількість мікро- та мініГЕС для утилізації потенціалу організованих водотоків технічних систем водопостачання і водовідведення, які розташовані на

існуючих спорудах. У даному випадку досягаються мінімальні терміни окупності капіталовкладень, оскільки відсутня плата за воду як за природний ресурс, а електроенергія використовується для власного споживання і не оподатковується. В Україні побудована мала гідроелектростанція потужністю 198 кВт на зворотних водах Супрунівських очисних споруд у Полтавській області.

Таблиця 4.1 – Встановлена потужність гідроелектростанцій у світі

Характеристика гідроелектростанцій	Загальна встановлена потужність, ГВт
Встановлена потужність не перевищує 1 МВт	31,277
Встановлена потужність у межах 1-10 МВт	116,787
Встановлена потужність більше 10 МВт	935,425
Гідроакумулюючі електростанції	159,472
Автономні електростанції	0,283
ВСЬОГО	1243,24

У світі малі ГЕС вважаються інвестиційно привабливими об'єктами для установ кредитування. Їх ефективність підтверджена значним досвідом проектування, спорудження і експлуатації. Наприклад, банківськими установами Німеччини спорудження малих ГЕС кредитується на 50-70 % від загальних витрат під 6,25-6,75 % річних протягом 10-20 років із затримкою виплати кредитів до 2-3 років на термін будівництва. Ці умови дозволили практично використовувати основний гідроенергетичний потенціал Німеччини. Законодавчо визначені правила приєднання малих ГЕС до розподільних електричних мереж різних форм власності. У країнах ЄС існують жорсткі правила паралельної роботи енергооб'єктів резервування, системної надійності, керованості та якості електроенергії.

В Україні державній охороні і регулюванню використання підлягають земля, надра, водні ресурси, ліси, поєзакисні й водоохоронні лісосмуги, зелені насадження, типові краєвиди, курортні місцевості, рідкісні, корисні, реліктові тварини й рослини, визначні природні об'єкти, державні заповідники і заказники та їхній рослинний і тваринний світ, атмосферне повітря та інші природні багатства, які залучені до господарського обороту, і ті, що їх не експлуатують. Організацію заходів щодо охорони природи та нагляд за їх проведенням здійснюють місцеві органи влади, відомства, інспекції, громадські організації.

Обов'язковою умовою законності ГЕС є наявність дозволів на реконструкцію, будівництво та роботу. ГЕС повинна відповідати і не суперечити принципам та умовам, які ставлять перед країною наступні документи:

1. Рамкова конвенція про охорону та сталий розвиток Карпат [10] та Протокол до Рамкової конвенції про збереження і стале використання біологічного та ландшафтного різноманіття [11];
2. Бернська конвенція [12];
3. Європейська ландшафтна конвенція [3];
4. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» [14];
5. Водний кодекс України [15];
6. Земельний кодекс України [16];
7. Лісовий кодекс [17].

Кожний з цих документів має свої цілі та шляхи їх досягнення, але всі вони поєднані однієї метою, а саме – охорона, збереження та стале використання природних ресурсів.

Таблиця 4.2 – Участь малих ГЕС у ринку електроенергії

Ринок / Механізм	Дія МГЕС у системі управління попитом	Монетизація
------------------	---------------------------------------	-------------

Внутрішня оптимізація (DSM підприємства)	Заміщення купленої е/е в години найвищих тарифів; уникнення штрафів за перевищення потужності.	Зниження рахунків за електроенергію (OPEX).
Ринок "на добу наперед" (РДН)	Концентрація виробництва в пікові години (ранок, вечір) за рахунок акумулювання води вночі.	Максимізація прибутку від прямого продажу енергії.
Балансуючий ринок	Оперативне відхилення від графіка генерації вгору або вниз за командою диспетчера енергосистеми.	Оплата за балансуєчу електричну енергію (часто за преміальними цінами).
Ринок допоміжних послуг (РДП)	Утримання частини потужності в резерві (РПЧ, РВЧ). Швидке завантаження генератора при падінні частоти в мережі.	Плата за готовність (Capacity payment), незалежно від факту активації резерву.

Технічний стан діючих малих ГЕС (які не були реконструйовані) характеризується значною або повною зношеністю основного гідросилового, гідротехнічного та електротехнічного обладнання, наявністю несправностей у спорудженнях напірного фронту, які можуть стати причиною виникнення аварійних ситуацій, замуленням водосховищ, ростом забору води на неенергетичні потреби, розмивами кріплень водозливних і берегових ділянок нижніх б'єфів та ін. У рамках державних програм України розробляються ряд проєктів для оновлення та реконструкції діючих малих ГЕС, будівництва нових малих ГЕС у районах децентралізованого енергопостачання, спорудження малих ГЕС у регіонах централізованого енергопостачання на перепадах водосховищ та водотоків.

У промисловому та муніципальному секторах наявність власної або територіально наближеної малої ГЕС дозволяє реалізувати глибокі стратегії DSM без необхідності зупиняти основні виробничі процеси.

Малі ГЕС можуть реалізовувати свою гнучкість на кількох сегментах ринку.

Використання малих гідроелектростанцій в архітектурі управління попитом є одним із найефективніших шляхів декарбонізації та підвищення стійкості промислових енергосистем. Хоча МГЕС є класичним джерелом генерації, їхня здатність до контрольованої диспетчеризації перетворює їх на "актив гнучкості", споріднений за своєю економічною суттю з акумуляторними батареями.

Виконайте моделювання ГЕС як запропоновано в навчальному курсі:

Частина 1. Огляд гідроенергетичних проєктів у RETScreen Expert

https://www.youtube.com/watch?v=af0_iAnxyy4

Частина 2. Енергетичне моделювання для гідроенергетичних проєктів у RETScreen Expert

<https://www.youtube.com/watch?v=E8UIklYmc6U>

Частина 3 – Вартість гідроелектростанцій у RETScreen Expert

<https://www.youtube.com/watch?v=TgSyE6GGjrl>

Частина 4 – Гідрологічна оцінка для гідропроектів у RETScreen Expert

<https://www.youtube.com/watch?v=RxaJpePP4oQ>

Для проєктування обираємо одну із ГЕС, визначаємо всі параметри, вихідні дані показників заносимо мінімум на 2 рівні проєктування.

4.2 Приклад моделювання

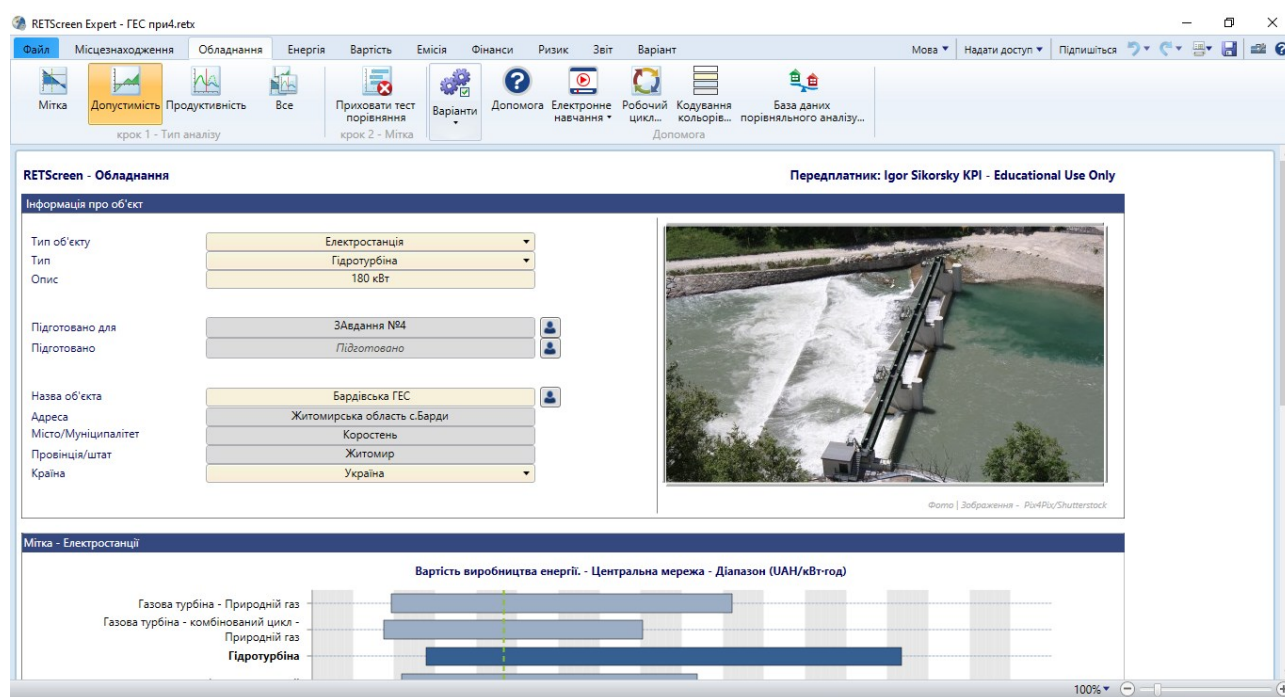
Для моделювання гідроелектростанції (далі ГЕС) було обрано ГЕС «Бардівську», що розміщується в Житомирській області. Встановлена потужність становить 180 кВт.

Перший крок для даного проектування ГЕС повністю збігається з першим кроком моделювання СЕС (рис. 3.1), тому немає необхідності ще раз позначати це. Але зрозуміло, що дані вносяться відповідно до нового проекту ГЕС.

Далі, на вкладці «Обладнання» зазначаємо всі необхідні описові характеристики обраного об'єкта (рис. 4.1).

Посилання де Ви можете вибрати собі реальний об'єкт для проектування <https://www.energo.ua/ua/assets>.

По завершенню проектування завантажується звіт з результатами скрінами роботи де наведено їх опис також додається робочий файл RETScreen.



Наступним кроком на вкладці «Енергія», у пункті «Технологія», далі «Електроенергія», далі обираємо 1 рівень аналізу та вводимо всі дані для обраного об'єкта, а саме щодо гідротурбін (рис. 4.2).

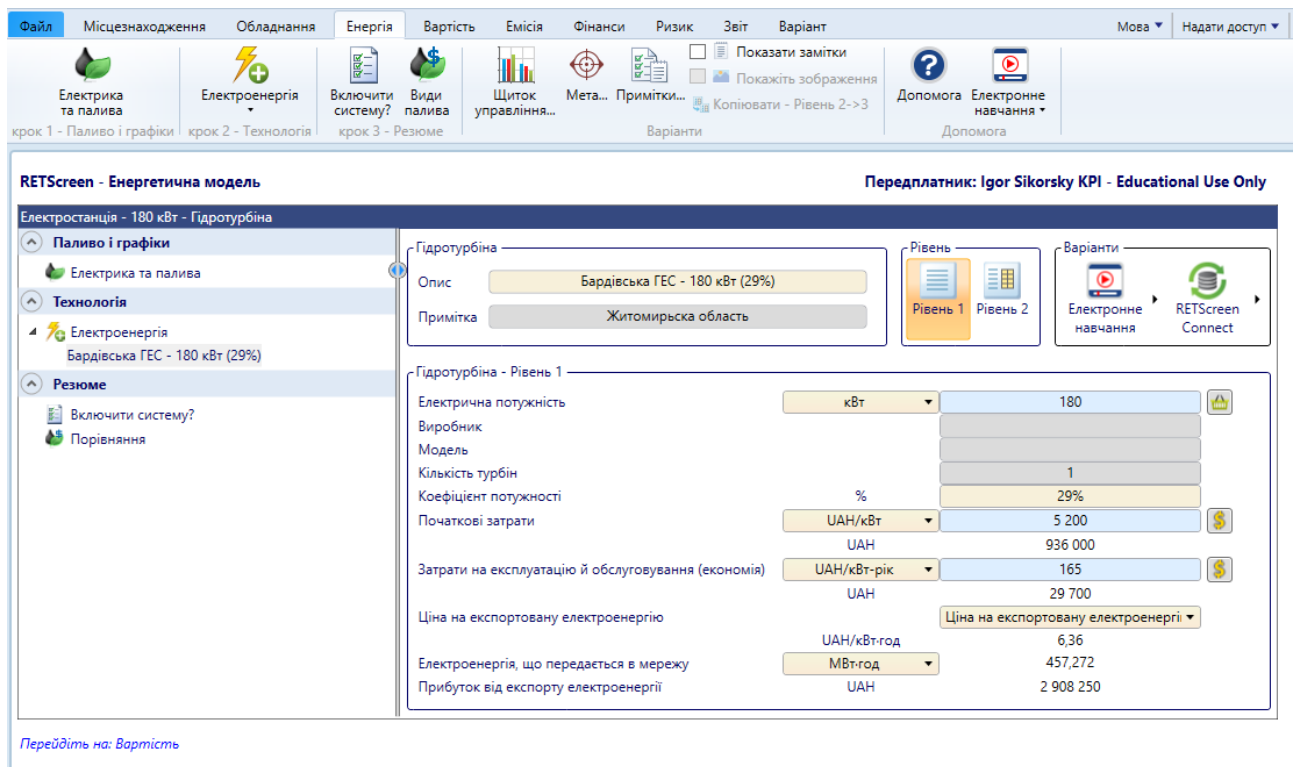


Рисунок 4.2 – Налаштування на вкладці «Енергія»

На вкладці «Вартість» зазначаємо фінансові показники, такі, як: початкова вартість та витрати на експлуатацію та обслуговування (рис. 4.3).

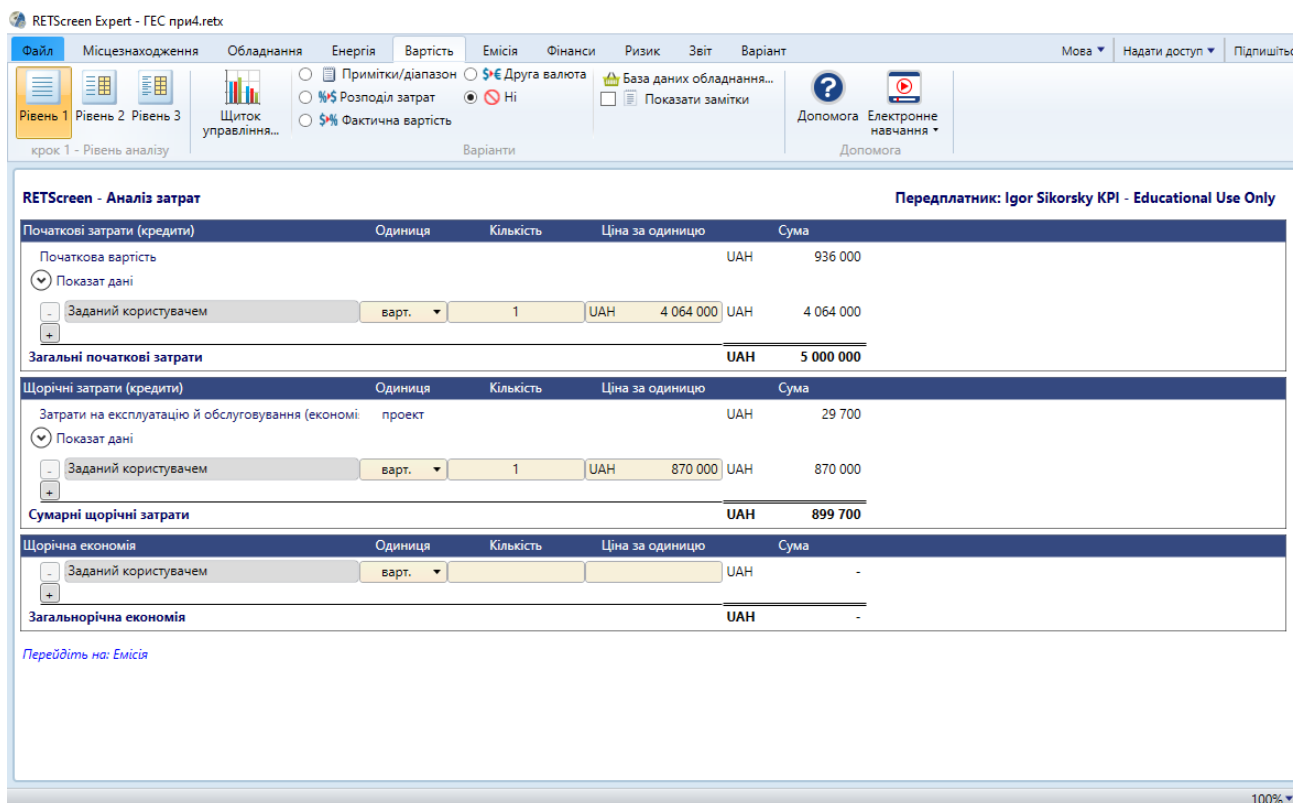


Рисунок 4.3 – Налаштування на вкладці «Вартість»

Далі налаштування на вкладці «Емісія», тут налаштування такі само, як і для моделювання СЕС (рис. 3.6).

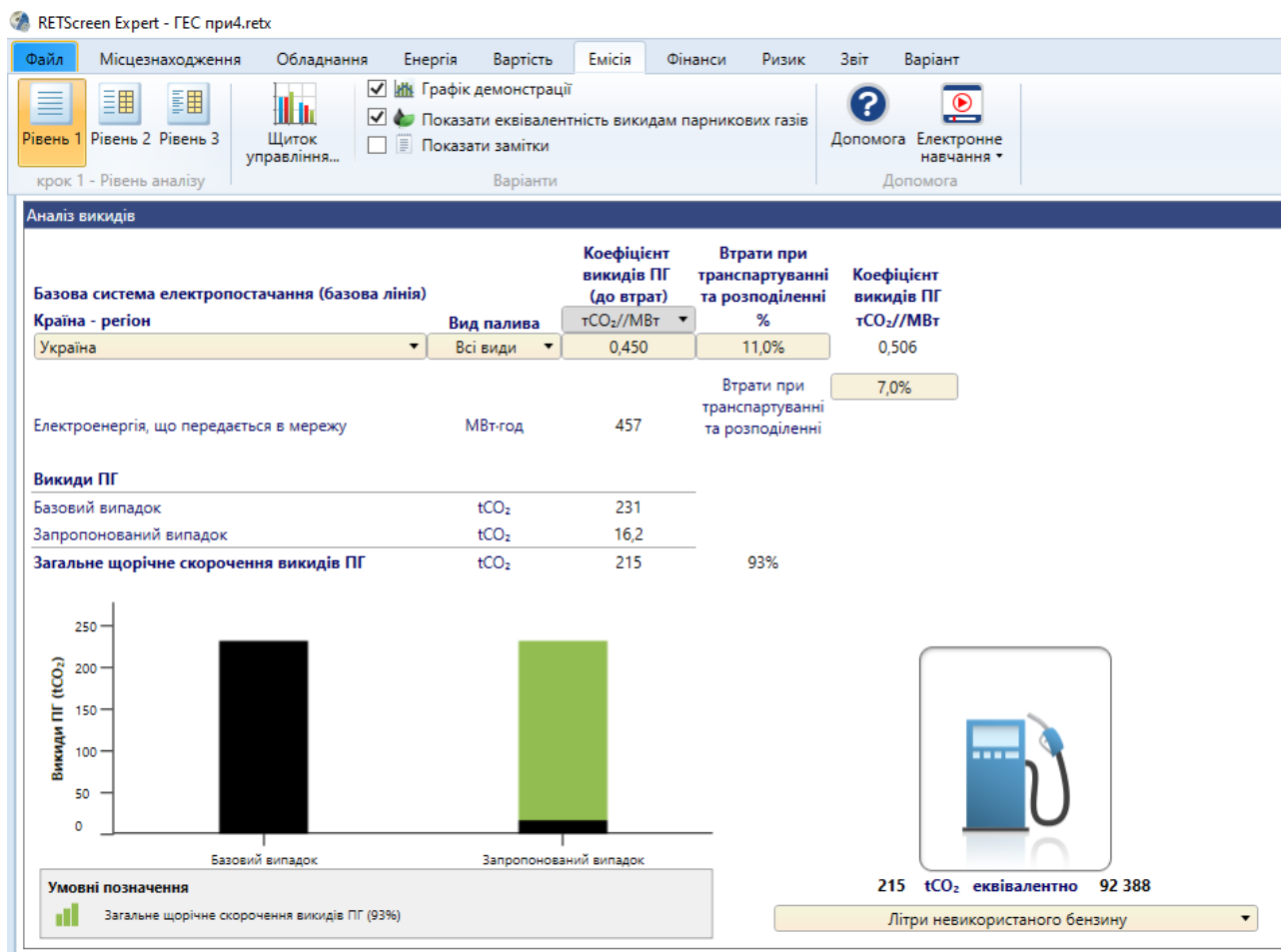


Рисунок 4.4 – Налаштування на вкладці «Емісія»

Завершальним кроком є налаштування на вкладці «Фінанси» (обираємо рівень 2 аналізу), але так як в 1 пункті даного документу зроблено таблицю щодо всіх показників, то просто ще раз вставляю скріншот з введеними значеннями (рис. 4.5).

RETScreen Expert - ГЕС при4.retx

Файл Місцезнаходження Обладнання Енергія Вартість Емісія

Рівень 1 Рівень 2 Щиток управління... Графік демонстрації Показати замітки Експорт до фа Копіювати - Рівень 1->2

крок 1 - Рівень аналізу Варіанти

RETScreen - Фінансовий аналіз

Фінансові показники

Загальні

Темп зростання вартість на паливо		6%
Темп інфляції	%	11%
Ставка дисконту	%	8,5%
Норма реінвестування	%	9%
Строк реалізації проекту	рік	30

Фінансові

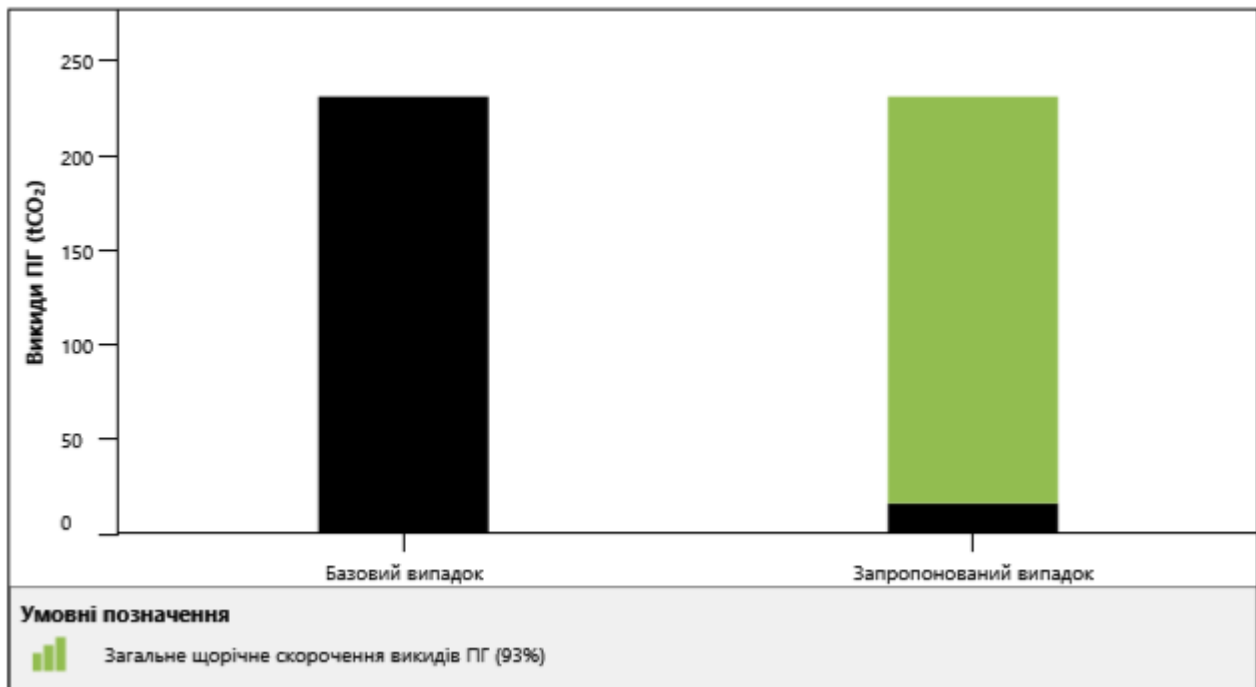
Стимулювання і гранти	UAH	
Коефіцієнт заборгованості	%	10%
Займовий капітал	UAH	500 000
Акц. капітал	UAH	4 500 000
Відсоткова ставка по кредиту	%	6%
Строк погашення кредиту	рік	6
Виплата заємного капіталу	UAH/рік	101681,31

Аналіз податку на прибуток ☐

Рисунок 4.5 – Налаштування на вкладці «Фінанси»

Завершальним етапом, підведемо підсумки даного моделювання ГЕС «Бардівська» в RETScreen. Для цього із звіту, який видає сам RETScreen (він знаходиться на вкладці «Звіт») представимо скріншоти з результатами (рис. 4.6-4.8).

Викиди ПГ



Кількість викидів ПГ



Викиди ПГ		
Базовий випадок	231,2	tCO ₂
Запропонований випадок	16,2	tCO ₂
Загальне щорічне скорочення викидів ПГ	215	tCO₂

Рисунок 4.6 – Інформація щодо викидів парникових газів

Економічна доцільність

Фінансові показники

Загальні		
Темп інфляції	%	11%
Ставка дисконту	%	8,5%
Норма реінвестування	%	9%
Строк реалізації проекту	рік	30
Фінансові		
Коефіцієнт заборгованості	%	10%
Займовий капітал	UAH	500 000
Акц. капітал	UAH	4 500 000
Відсоткова ставка по кредиту	%	6%
Строк погашення кредиту	рік	6
Виплата заємного капіталу	UAH/рік	101 681

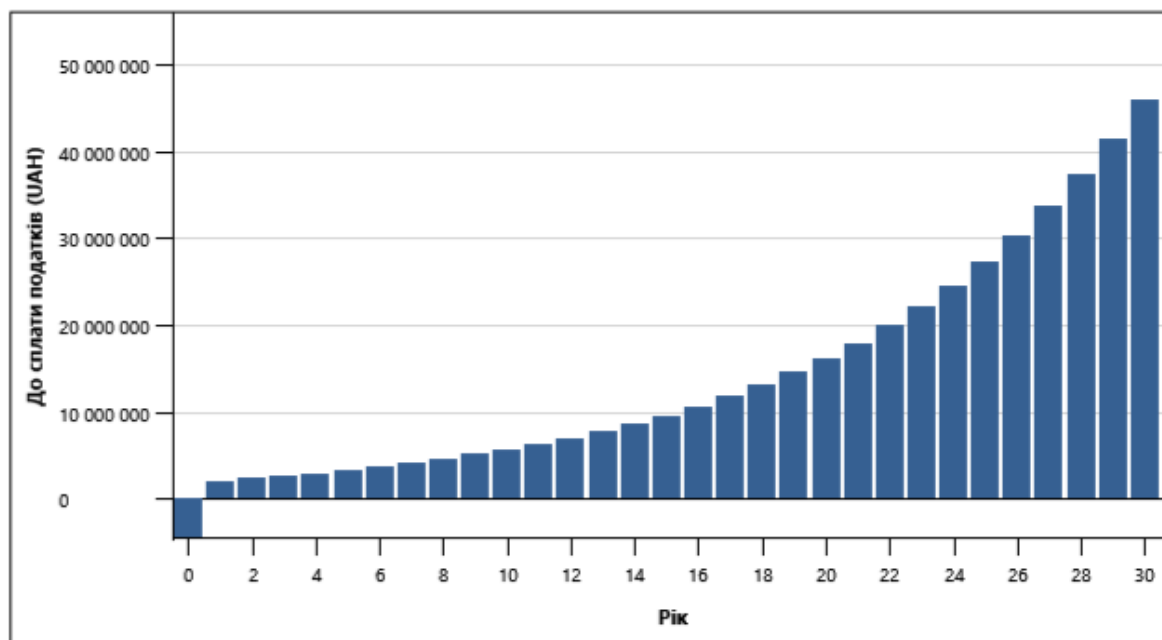
Щорічна економія і дохід

Прибуток від експорту електроенергії		
Електроенергія, що передається в мережу	МВт·год	457
Ціна на експортовану електроенергію	UAH/ кВт·год	6,36
Прибуток від експорту електроенергії	UAH	2 908 250
Темп росту експорту електроенергії	%	11%

Рисунок 4.7 – Економічна доцільність даного проекту

Грошовий потік

Щорічний



Сукупний

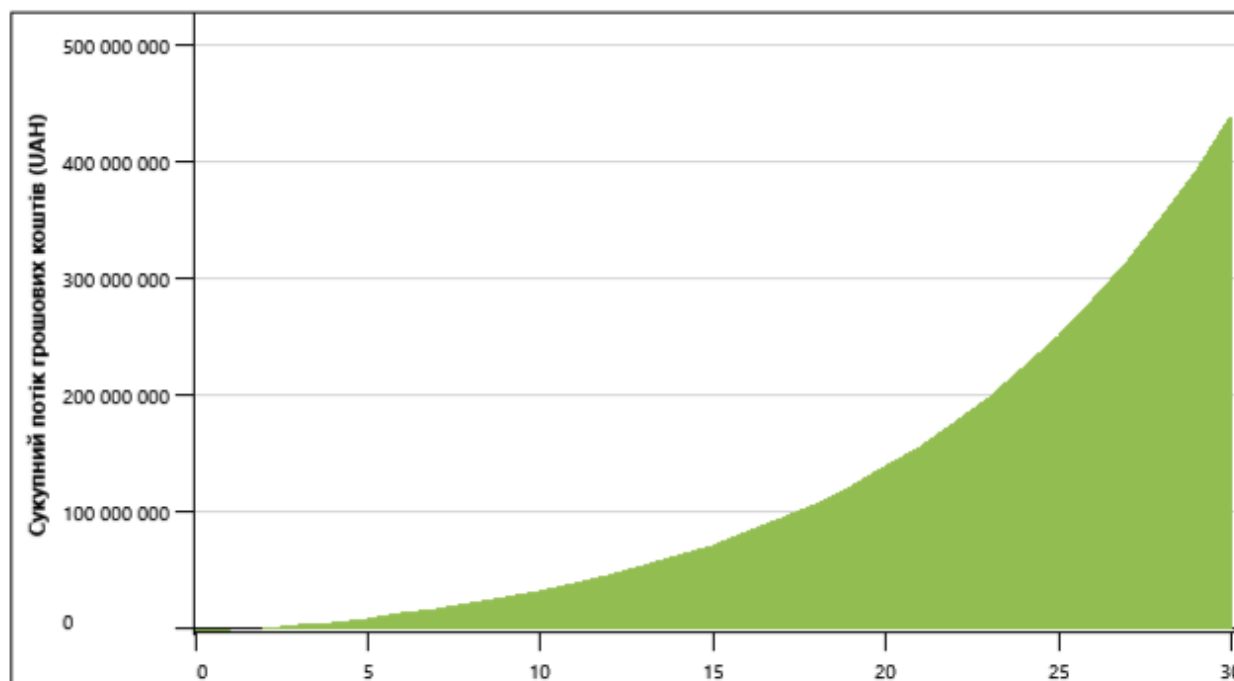


Рисунок 4.8 – Грошовий потік

Отже, в результаті моделювання даної ГЕС було отримано такі основні показники, як:

- простий термін окупності складає 7 р.;
- повернення капіталу складає 5 р.;

Таблиця 4.2 – Вихідні дані для моделювання

№	Назва ГЕС	Встановлена потужність, МВт	Зелений тариф, Євроцент/кВт·год	Дата отримання зеленого тарифу
1	Бардівська ГЕС	0,18	11,63	Березень 201
2	Михайлівська ГЕС	0,26	13,95	Січень 2011
3	Лебединська ГЕС	0,13	17,45	Червень 2015
4	Миропівська ГЕС	0,58	11,63	Грудень 2019
5	Млинівська ГЕС	0,38	11,63	Січень 2011
6	МГЕС Нижній Бистрий	2,2	11,63	Вересень 2015
7	Білецьке-золоцька МГЕС 2	1,44	11,6	Серпень 2015
8	Новошицька ГЕС	0,17	19,39	Листопад 2013
9	Ужгородська ГЕС	1,92	10,45	Лютий 2017
10	Оноківська ГЕС	2,65	40,45	Лютий 2017
11	Константинівська ГЕС	0,95	13,95	Лютий 2017
12	Мислятинська ГЕС	0,8	11,63	Серпень 2009
13	Новолабунська ГЕС	0,13	11,63	Січень 2013
14	Міні-ГЕС Лопухово	1	13,95	Серпень 2016
15	Дубіїнська ГЕС	0,22	19,39	Грудень 2014
16	Остівецька ГЕС	0,22	19,39	Грудень 2014
17	ГЕС Івонівська	0,19	17,45	Грудень 2016
18	Великоолександрівська ГЕС	0,15	17,45	Квітень 2017
19	Краснооскільська ГЕС	4,05	11,6	Листопад 2010
20	Полянська ГЕС	0,2	19,39	Січень 2015
21	Седнівська ГЕС	0,18	17,45	Січень 2019
22	Ріпинецька ГЕС	0,13	19,39	Жовтень 2014
23	Цибулівська ГЕС	0,35	15,51	Квітень 2014
24	Новоархангельська ГЕС	1,36	11,63	Лютий 2012
25	Велико-Сорочинська ГЕС	0,46	13,95	Червень 2016

4.3 Контрольні питання

1. На які класи розподіляються малі ГЕС за потужністю?
2. Які переваги малих ГЕС?
3. Яких показників ефективності перетворення гідроенергії в електричну можна досягнути використовуючи малі ГЕС?
4. Які переваги використання малих ГЕС?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №5. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ГЕНЕРАЦІЇ НА БІОГАЗІ.

Тривалість практичної роботи – 2 год.

Мета роботи – Підібрати оптимальний склад обладнання. Провести аналіз витрат, різних тарифів для проєкту. Визначити потенціал покриття споживання електричної та теплової енергії для різних груп споживачів.

5.1 Основні теоретичні відомості

Ефективним шляхом доповнення та заміни традиційних паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), особливо в сільській місцевості, є виробництво та використання біогазу, який утворюється в результаті застосування технологій метанового зброджування тваринницької біомаси і на 55-70 % складається з метану.

Біогаз – це суміш газів, що утворюється внаслідок анаеробного метанового збродження біомаси і складається з метану, двоокису вуглецю, домішок сірководню, аміаку та інших газів.

За рахунок використання біогазу можна замінити такі види палива:

- природний газ, що використовується у когенераційних установках для виробництва електричної енергії для постачання в загальнодержавну енергосистему та теплової енергії для задоволення локальних потреб;
- бензин, дизельне паливо та гас у стаціонарних та транспортних двигунах внутрішнього згоряння.

У низці країн світу енергетика на біомасі зайняла важливе місце в енергобалансі. Наприклад, у Данії на частку енергетики на біомасі припадає понад 7% усієї енергетики, в Австрії – 12%, у Швеції – 21%, а у Німеччині – понад 24%. У цілому, в ЄС щорічно із біомаси отримують 14% загальної потреби

у енергії. Європейський ринок біогазових установок оцінюється в \$3 млрд, і, за прогнозами, він повинен вирости до \$25 млрд уже до 2020 р. При цьому 75% біогазу виробляється з відходів сільського господарства, 17% – з органічних відходів приватних домогосподарств і підприємств і ще 8% – каналізаційних очисних споруд.

Наразі в Україні частка біоенергетики близько 3%, але потенційно «зелена» електроенергія може задовольнити усі потреби населення. Одне з небагатьох підприємств, яке займається будівництвом біогазових комплексів та реалізацією біогазових проєктів на території нашої держави є україно-німецька компанія «Альтернативні Енергосистеми і Технології навколишнього середовища». Наразі в Україні діє 3 проєкти компанії з виловлювання полігонного газу у містах Вінниця, Кременчук та Запоріжжя. На черзі – старт проєктів у Черкасах та Харкові. Компанія вже не перший рік є учасником Асоціації «Укрекоальянс», адже розділяє з нами одну філософію сталого й «зеленого» розвитку держави.

Світові тенденції щодо стрімкого розвитку альтернативної енергетики та галузі біоенергетики у поєднанні із системною кризою енергетичної галузі в Україні спричинили необхідність проведення детального дослідження щодо перспектив вітчизняного виробництва біопалив [18].

Україна визначила розвиток сільського господарства як стратегічну мету. Однак вона стикається з жорсткою глобальною конкуренцією на сільськогосподарських ринках та обмеженими фінансовими ресурсами. Сектор біопалива пропонує потенціал як для розвитку національного сільського господарства, так і для підвищення її енергетичної незалежності. Водночас Україна виявилася єдиним потужним сільськогосподарським виробником, чие виробництво біопалива скоротилося з 2010 р. [19].

У 2012 р. прийнято Закон України «Про альтернативні види палива», що став першим законом, який офіційно регламентує виробництво біопалива. Законом визначено, що обов'язковий вміст біопалива у складі нафтового палива у 2014-2015 рр. мав становити 5%, а з 2016 р. – 7%. Однак 12 лютого 2015 р.

Верховна Рада України скасувала вимоги щодо обов'язкового вмісту біопалива. На той момент у державі не було ні інфраструктури для змішування біопалива, ні державної системи контролю за дотриманням вимог. У 2017 р. Уряд ухвалив Енергетичну стратегію України до 2035 р., цілями якої на 2035 р. визначено забезпечення 11,5% первинного енергопостачання країни за рахунок біомаси, біопалива і відходів [20].

В умовах зростання частки нестабільних відновлюваних джерел (сонця та вітру), здатність біогазу до тривалого зберігання та керованого перетворення на енергію стає критично важливою для стабільності об'єктів енергетичної інфраструктури.

Розглядають наступні концепції та механізми, які визначають роль біогазу в управлінні енергоспоживанням:

1. Концепція Demand-Driven Operation

Традиційно біогазові станції працювали в режимі безперервної генерації електроенергії (24/7). Дослідження доводять економічну та технічну доцільність переходу на "піковий" режим. А саме встановлюється когенераційна установка (КГУ) значно більшої потужності, ніж це потрібно для середньодобового об'єму виробленого газу. У періоди низького попиту в мережі газ накопичується в газгольдерах, а під час пікових навантажень (коли ціна на електроенергію найвища) КГУ вмикається на повну потужність. Станція виконує функцію зрізання піків (Peak Shaving) у загальній енергосистемі, діючи подібно до гідроакumuлюючих станцій чи промислових систем накопичення.

2. Концепція Flexibilization через Substrate Management

Гнучкість генерації можна забезпечити не лише розширенням газгольдерів, а й оптимізацією процесу завантаження реактора. Зміна графіка подачі сировини (feeding regime). Подача в реактор порцій швидкорозкладних субстратів (наприклад, патоки або певних видів силосу) дозволяє штучно стимулювати викид біогазу саме в той час, коли очікується найбільший дефіцит електроенергії в мережі (наприклад, для торгівлі на внутрішньодобовому ринку).

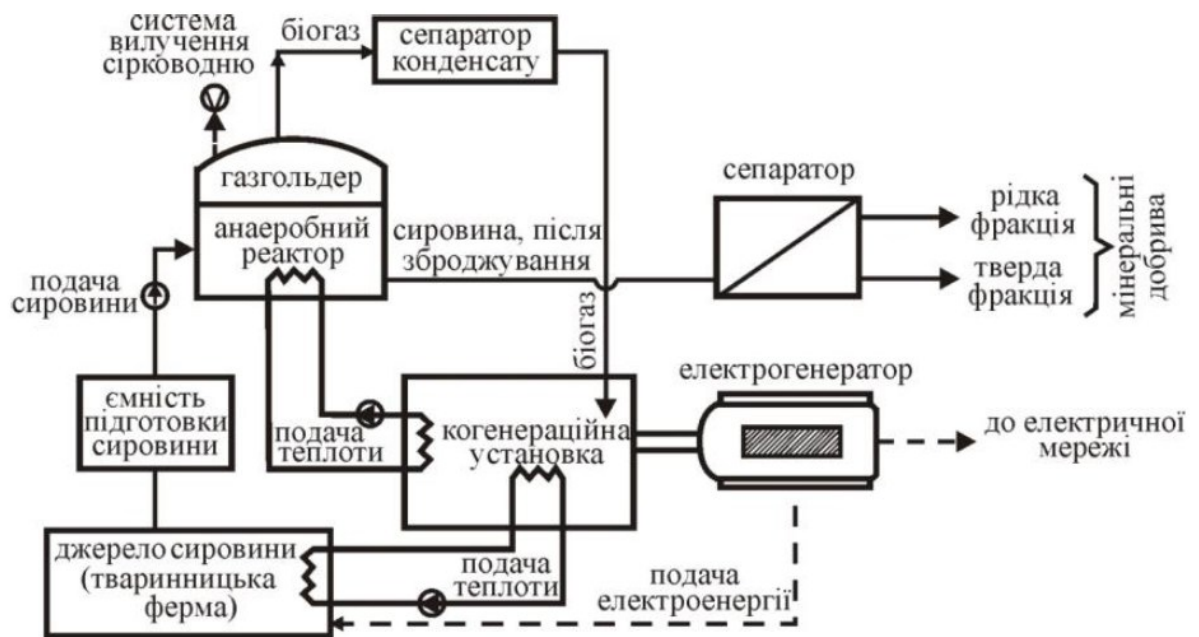


Рисунок 5.1 – Типова блок-схема роботи біогазової станції [7]

3. Синергія з технологією Power-to-Gas (P2G)

Біогазові комплекси можуть виступати споживачами надлишкової електроенергії, допомагаючи балансувати мережу у зворотному напрямку. Коли в мережі спостерігається профіцит енергії (наприклад, активна генерація ВЕС вночі), ця дешева електроенергія спрямовується на електролізні установки для отримання водню. Отриманий водень подається безпосередньо в газгольдер. Специфічні мікроорганізми в реакторі споживають водень та вуглекислий газ, синтезуючи додатковий метан. Таким чином, біореактор фактично "акумулює" надлишкову електроенергію з мережі у вигляді цінного біометану, здійснюючи класичний Demand Response за рахунок збільшення власного навантаження.

4. Інтеграція в мікромережі (Microgrids)

При даній концепції біогазові установки розглядаються як ключовий вузол локальних енергосистем. Біогаз компенсує добові та сезонні "провали" сонячної генерації, що дозволяє оптимізувати роботу всієї локальної мережі в умовах динамічного ціноутворення. Перехід від концепції базової генерації до інтегрованого управління попитом суттєво ускладнює проектування. Для моделювання стратегій управління енергоспоживанням (demand-response) і

оцінки комерційної ефективності балансування таких гібридних систем необхідно використовувати спеціалізовані аналітичні платформи. Інструмент як RETScreen Expert, дозволяє симулювати погодинні графіки навантаження, комбінувати біогазові установку з іншими відновлюваними джерелами та розраховувати оптимальну взаємодію з мережею на основі динамічних тарифів.

Потужність біогазової станції можете брати довільну. Посилання де Ви можете вибрати собі реальний об'єкт для проєктування <https://www.energo.ua/ua/assets>.

По завершенню проєктування завантажується звіт з результатами, скрінами роботи де наведено їх опис також додається робочий файл RETScreen

Діюча установка в Латвії <https://www.getlini.lv/>.

Виконайте моделювання біогазової електростанції як запропоновано в навчальному курсі:

Частина 1 - Огляд проєктів когенерації в RETScreen Expert

<https://www.youtube.com/watch?v=qEYeuSly88U>

Частина 2. Енергетичне моделювання проєктів когенерації в RETScreen Expert

https://www.youtube.com/watch?v=_FxqQIDSfro

Частина 3 – Ескізний проєкт когенераційних систем у RETScreen Expert

<https://www.youtube.com/watch?v=qTvLq4UM9qk>

Частина 4 – Аналіз централізованого опалення та охолодження за допомогою RETScreen Expert

<https://www.youtube.com/watch?v=kSweP7pjz24>

Частина 5. Біомаса, біогаз та інші види палива в RETScreen Expert

<https://www.youtube.com/watch?v=v93ZUFrpyiM>

Для моделювання біогазової електростанції було обрано біогазові електростанцію на полігоні ТПВ, що розміщується в с. Весняне Миколаївської області. Встановлена потужність становить 1063 кВт.

5.2 Приклад моделювання

Для моделювання даної біогазової електростанції в RETScreen першим кроком на вкладці «Місце», а саме в підвкладці «Аналізатор віртуальної енергії» (рис. 5.2) позначаємо місце розташування, тип об'єкту (енергія/тепло/охолодження) та тип (енергія).

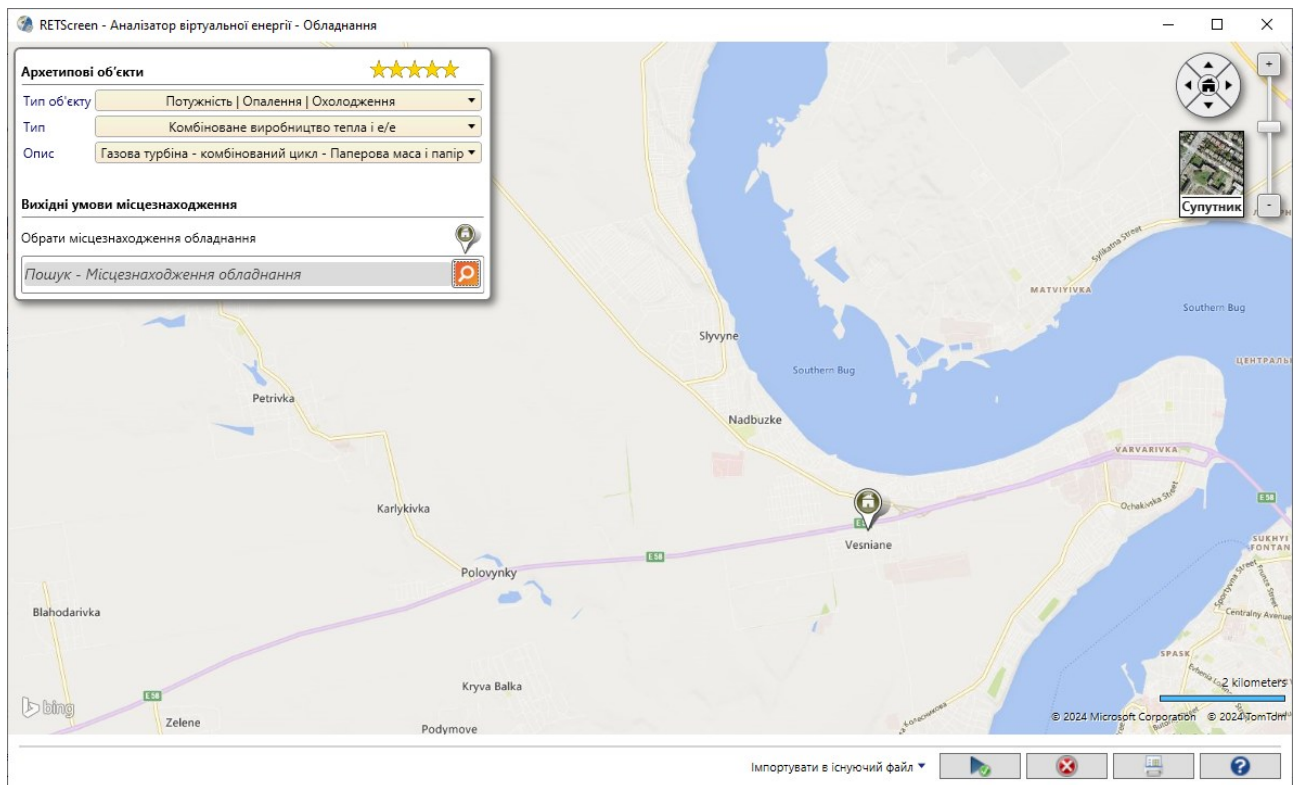


Рисунок 5.2 – Перший крок моделювання біогазової електростанції

Далі, на вкладці «Обладнання» зазначаємо всі необхідні описові характеристики обраного об'єкта (рис. 5.3).

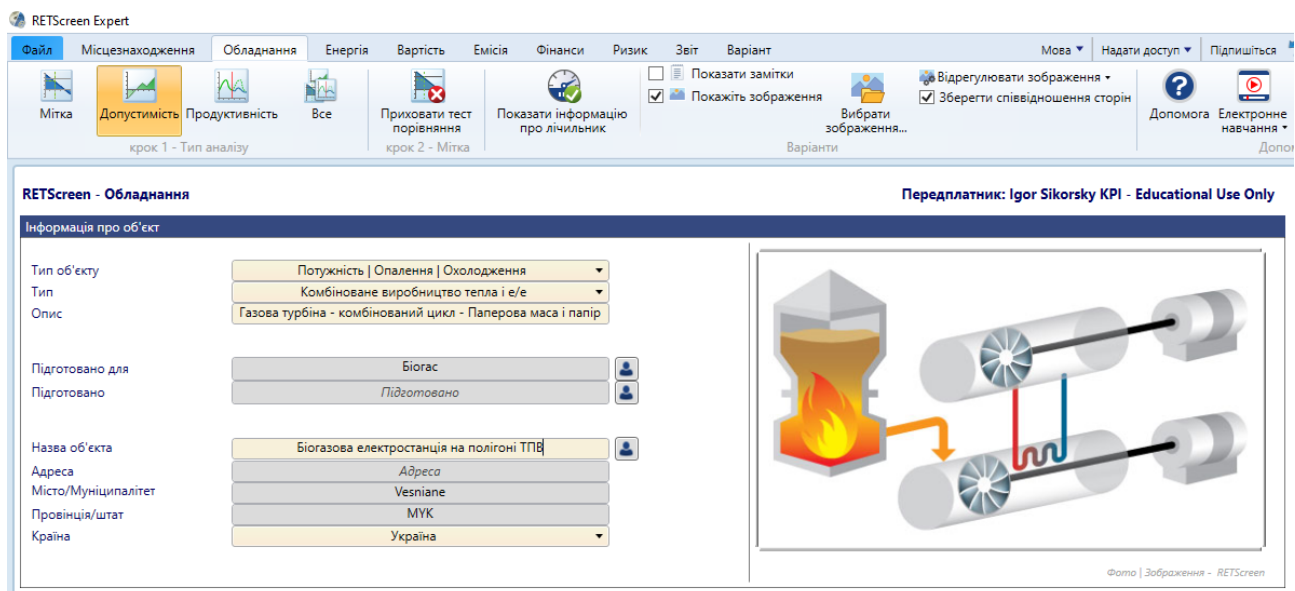


Рисунок 5.3 – Налаштування на вкладці «Обладнання»

Наступним кроком на вкладці «Вибір системи та палива», у пункті «Електрика та паливо» зазначаємо дані щодо види палива та його вартості (рис. 5.4).

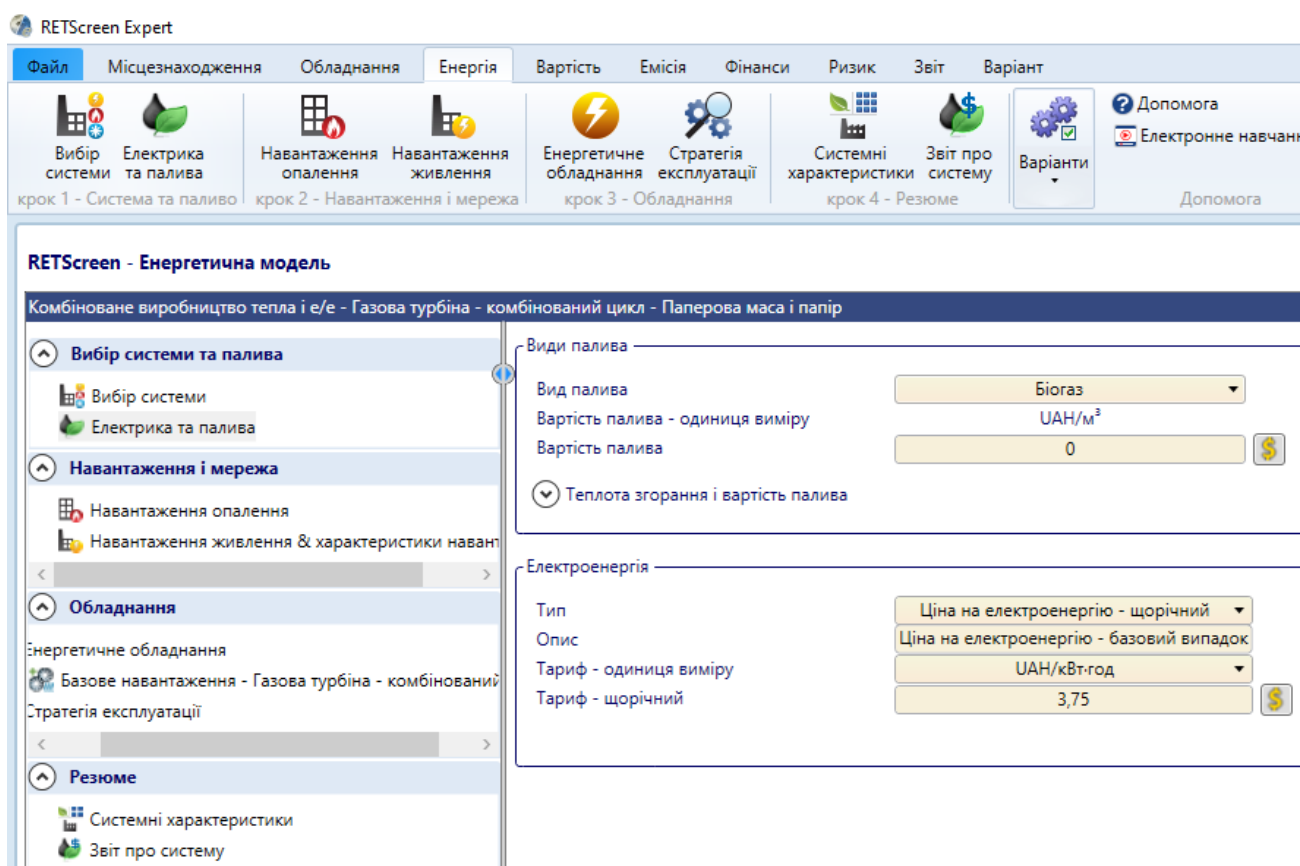


Рисунок 5.4 – Налаштування на вкладці «Енергія»

Далі, на вкладці «Обладнання», далі «Енергетичне обладнання», далі «Базові навантаження» зазначаємо всі дані щодо палива, необхідного обладнання (в даному випадку – турбіни) і його характеристик (рис. 5.5).

Рисунок 5.5 – Налаштування на вкладці «Енергія»

На вкладці «Вартість» зазначаємо фінансові показники, такі, як: початкова вартість та витрати на експлуатацію та обслуговування (рис. 5.6).

РЕTScreen - Аналіз затрат Передплатник: Igor Sikorsky KPI - Educational Use Only

Початкові затрати (кредити) Одиниця Кількість Ціна за одиницю Сума

Початкова вартість UAH 4 471 292

▼ Показат дані

- Інженерно-технічні роботи варт. 1 UAH 500 000 000 UAH 500 000 000

Загальні початкові затрати UAH 504 471 292

Щорічні затрати (кредити) Одиниця Кількість Ціна за одиницю Сума

Затрати на експлуатацію й обслуговування (економі проект UAH 112 663

▼ Показат дані

Вартість палива - Запропонований випадок UAH 61 447 882

- Запасні частини і робоча сила варт. 0 UAH 10 UAH 0

- Інше варт. 0 UAH 75 000 UAH 0

Сумарні щорічні затрати UAH 61 560 546

Щорічна економія Одиниця Кількість Ціна за одиницю Сума

Вартість палива - Базовий випадок UAH 2 346 524 145

- Заданий користувачем варт. - UAH -

Загальнорічна економія UAH 2 346 524 145

Рисунок 5.6 – Налаштування на вкладці «Вартість»

Далі налаштування на вкладці «Емісія», тут налаштування такі само, як і для моделювання СЕС (рис. 3.6).

Файл Місцезнаходження Обладнання Енергія Вартість **Емісія** Фінанси Ризик Звіт Варіант

Рівень 1 Рівень 2 Рівень 3 Щиток управління... Графік демонстрації Показати еквівалентність викидам парникових газів Показати замітки

Допомога Електронне навчання

крок 1 - Рівень аналізу Варіанти Допомога

RETScreen - Аналіз викидів Передплатник: Igor Sikorsky KPI - Educational Use Only

Аналіз викидів

Базова система електропостачання (базова лінія)

Країна - регіон	Вид палива	Коефіцієнт викидів ПГ (до втрат) кгCO ₂ /кВт-год	Втрати при транспортуванні та розподіленні %	Коефіцієнт викидів ПГ кгCO ₂ /кВт-год
Україна	Всі види	0,450	11,0%	0,506

Викиди ПГ

Вид викидів	Одиниця	Значення
Базовий випадок	tCO ₂	318 956
Запропонований випадок	tCO ₂	313 450
Загальне щорічне скорочення викидів ПГ	tCO ₂	5 506

1,7%

Умовні позначення

Загальне щорічне скорочення викидів ПГ (1,7%)

5 506 tCO₂ еквівалентно 2 365 691 Літри невикористаного бензину

Індикативна ціна вугілля | Дохід за рахунок зниження викидів парникових газів

Індикативна ціна вугілля UAH/tCO₂

Зниження викидів вуглецю

Потрібне скорочення викидів ПГ, що залишилися tCO₂ 313 450

Перейдіть на: Фінанси

Рисунок 5.7 – Налаштування на вкладці «Емісія»

Завершальним кроком є налаштування на вкладці «Фінанси» (обираємо рівень 2 аналізу), але так як в 1 пункті даного документу зроблено таблицю щодо всіх показників, то просто ще раз вставляю скріншот з введеними значеннями (рис. 5.8).

RETScreen - Фінансовий аналіз

Фінансові показники

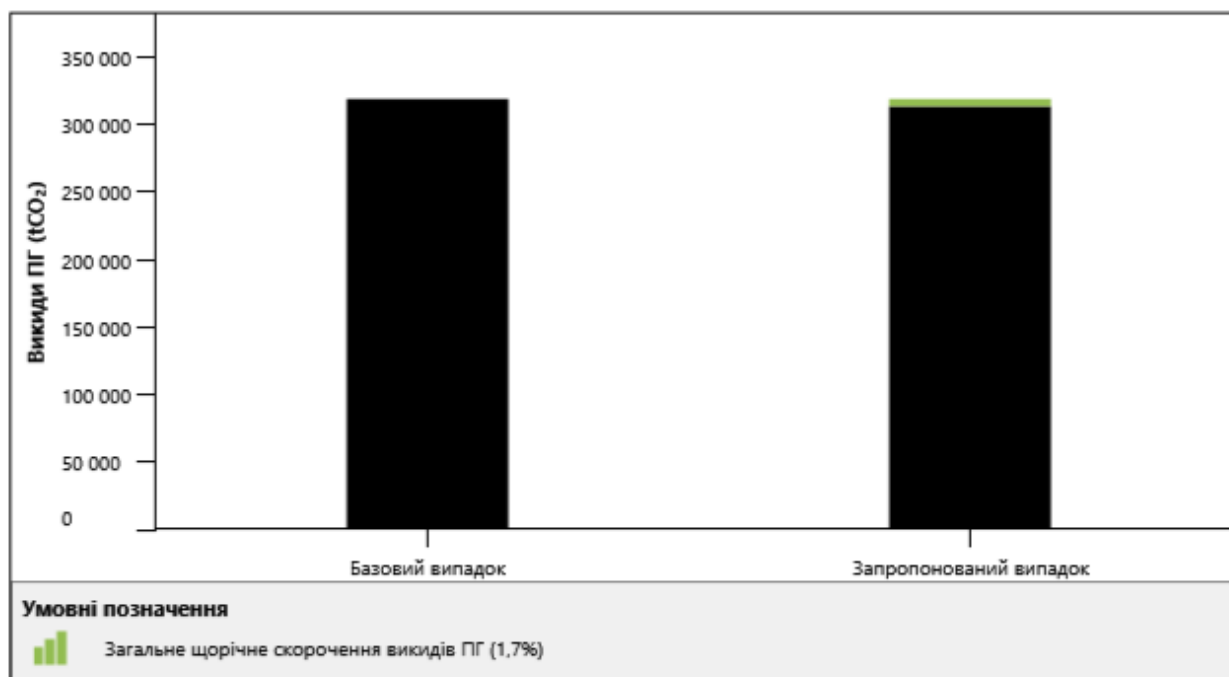
Загальні		
Темп зростання вартість на паливо	%	6%
Темп інфляції	%	11%
Ставка дисконту	%	8,5%
Норма реінвестування	%	9%
Строк реалізації проекту	рік	25
Фінансові		
Стимулювання і гранти	UAH	
Коефіцієнт заборгованості	%	0%
Аналіз податку на прибуток		
		☐

Рисунок 5.8 – Налаштування на вкладці «Фінанси»

Завершальним етапом, підведемо підсумки даного моделювання біогазової електростанції на полігоні ТВП в с. Весняне в RETScreen. Для цього із звіту, який видає сам RETScreen (він знаходиться на вкладці «Звіт») представимо скриншоти з результатами (рис. 5.9-5.11).

Викиди ПГ

Викиди ПГ



Кількість викидів ПГ



Викиди ПГ		
Базовий випадок	318 956	tCO ₂
Запропонований випадок	313 450,2	tCO ₂
Загальне щорічне скорочення викидів ПГ	5 505,8	tCO₂

Рисунок 5.9 – Інформація щодо викидів парникових газів

Економічна доцільність

Фінансові показники

Загальні		
Темп зростання вартість на паливо	%	6%
Темп інфляції	%	11%
Ставка дисконту	%	8,5%
Норма реінвестування	%	9%
Строк реалізації проекту	рік	25

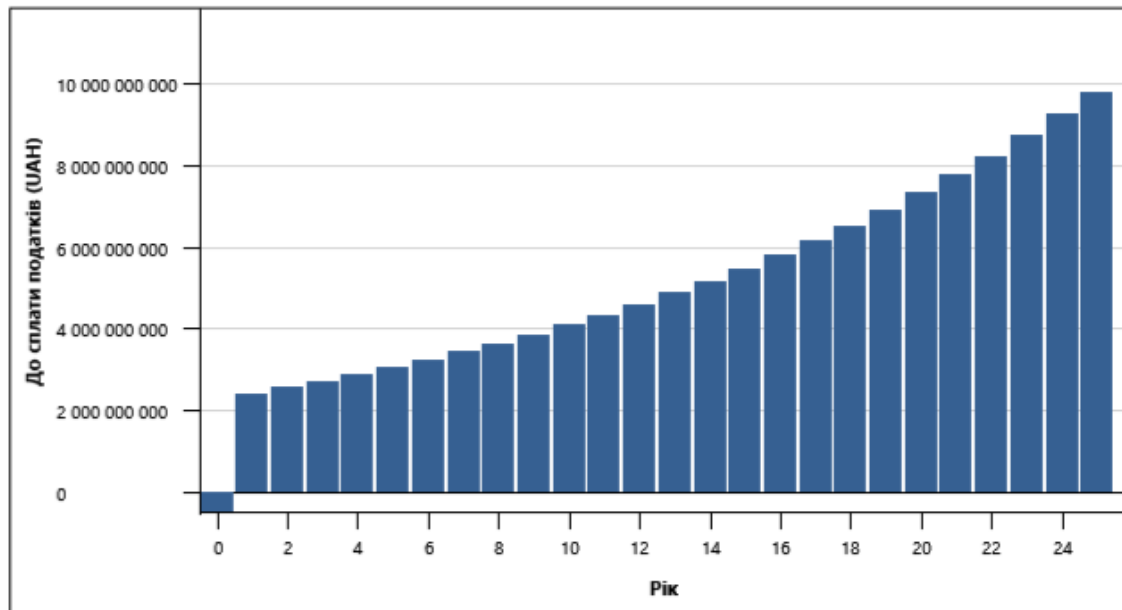
Витрати | Збереження | Дохід

Початкові затрати			
Початкова вартість	0,89%	UAH	4 471 292
Інженерно-технічні роботи	99,1%	UAH	500 000 000
Загальні початкові затрати	100%	UAH	504 471 292
Щорічний грошовий потік - Рік 1			
Щорічні затрати і виплата займового капіталу			
Затрати на експлуатацію й обслуговування (економія)		UAH	112 663
Вартість палива - Запропонований випадок		UAH	61 447 882
Запасні частини і робоча сила		UAH	0
Інше		UAH	0
Виплата заємного капіталу		UAH	0
Сумарні щорічні затрати		UAH	61 560 546
Щорічна економія і дохід			
Вартість палива - Базовий випадок		UAH	2 346 524 145
Економія скорочення ПГ		UAH	0
Преміальний дохід споживача (повернення коштів)		UAH	0
Сумарна щорічна економія і дохід		UAH	2 346 524 145
Чистий річний грошовий потік - Рік 1		UAH	2 284 963 599

Рисунок 5.10 – Економічна доцільність даного проекту

Грошовий потік

Щорічний



Сукупний

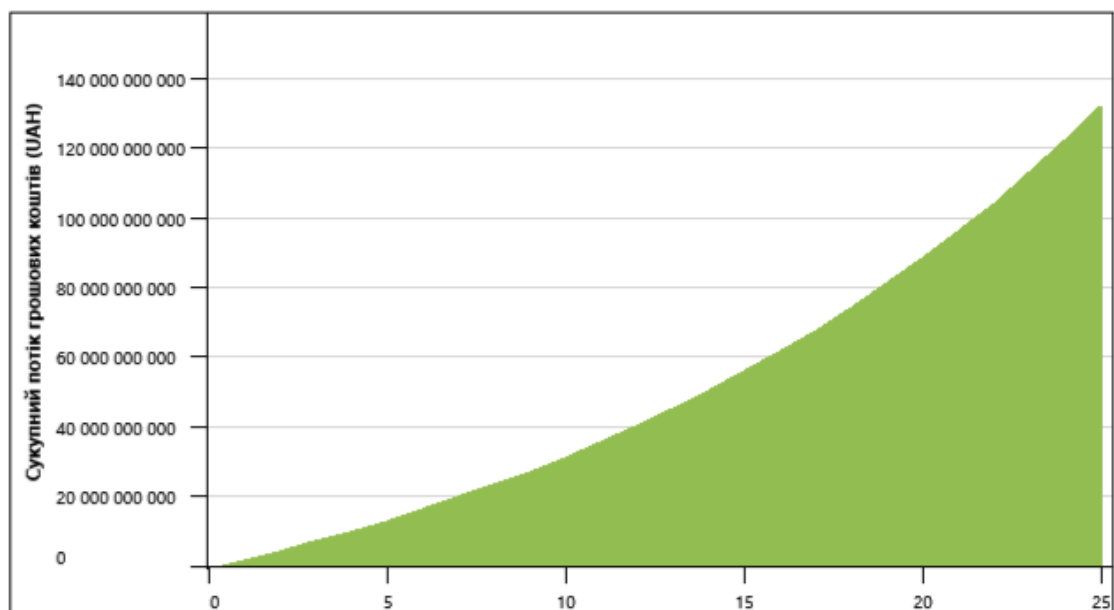


Рисунок 5.11 – Грошовий потік

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для моделювання

№	Назва станції	Встановлена вотужність, МВт	Зелений тариф, Євроцент/ кВт·год	Дата отримання зеленого тарифу
1	Когенераційна станція Агробудтехнології 1 черга	0,63	12,39	Квітень 2017
2	БіоТЕС Зелений Гай	0,13	12,39	Лютий 2018
3	Блочно-модульна ЕС Стадниця	1,0	23,39	Листопад 2015
4	Когенераційна установка Хмельницька	0,66	12,39	Січень 2018
5	Когенераційна установка Базова 1 черга	2,13	12,39	Лютий 2019
6	Біогазова ЕС Богданівська	2,41	12,39	Листопад 2018
7	Біогазова ЕС Журавська	1,2	12,39	Лютий 2019
8	Біогазова установка Гудвеллі Україна	1,17	12,39	Серпень 2014
9	Біогазовий завод Екопрод 1 черга	1,49	12,39	Січень 2018
10	Біогазова установка Бзівська	0,33	12,39	Червень 2018
11	Когенераційна установка Рожновська	0,63	12,39	Березень 2019
12	Когенераційна установка Ковалівська	1,0	12,39	Грудень 2018
13	Когенераційна установка Новобілоуська	1,13	12,39	Січень 2018
14	Біогазова енергетична станція Східненська	3,12	12,39	Листопад 2016
15	Біогазова енергетична станція Екоенергія Барвінок	0,58	12,39	Жовтень 2014
16	Когенераційна установка Глибоцька	1,06	12,39	Квітень 2013
17	Когенераційна установка Рожівська	0,89	12,39	Квітень 2014
18	Когенераційна установка Оліївська	1,06	12,39	Грудень 2014
19	Когенераційна установка Веснянська	1,06	12,39	Грудень 2014
20	Газопоршнева установка Руськополянська	0,6	12,39	Квітень 2017
21	Установка когенераційна блочна КУБ 604318	3,6	12,39	Березень 2017
22	Генераторна установка Мастеренерго Інвест	0,66	12,39	Жовтень 2017
23	ТЕЦ Єлизаветівка	5,69	12,39	Листопад 2013
24	Когенераційна газопоршнева станція Рокитне	2,38	12,39	Травень 2015

5.3 Контрольні питання

1. Які переваги використання біогазових установок?
2. Які види палива можна замінити за рахунок використання біогазу?
3. Хто у переважній більшості випадків є основним виробником біогазу?
4. Чому Верховна Рада України скасувала вимоги щодо обов'язкового вмісту біопалива в звичайному паливі?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №6. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ГЕНЕРАЦІЇ НА БІОМАСІ.

Тривалість практичної роботи – 2 год.

Мета роботи – Підібрати оптимальний склад обладнання. Провести аналіз витрат, різних тарифів для проєкту. Визначити потенціал покриття споживання електричної та теплової енергії для різних груп споживачів.

6.1 Основні теоретичні відомості

Біомаса – це сукупність організмів у біогеоценозі (екологічній системі) на момент спостережень. Відповідно до належності органічної речовини визначається фітобіомаса (рослинна) та зообіомаса (тваринна).

Біомаса є одним із найбільш поширених відновлюваних джерел енергії. Їх можна розділити на дві основні групи:

- первинна біомаса;
- вторинна біомаса.

Джерелом первинної біомаси є наземний та водний рослинний світ; вторинної – відходи біомаси, які утворюються після збору та переробки первинної біомаси в товарні продукти та відходи, обумовлені життєдіяльністю людей і тварин (деревина, солома, рослинні відходи сільського господарства, відходи тваринництва та птахівництва, органічна частина побутових і промислових відходів).

Біомаса є одним з найбільш гнучких альтернативних видів сировини для виробництва енергії шляхом ферментації або спалювання. Газ метан отримують, як з відходів та решток рослинництва, так і тваринництва. Далі отриманий біогаз може бути перетворений у джерела енергії:

- електричну енергію

- теплову енергію
- пару
- біометан

Такі альтернативні джерела енергії можуть бути реалізовані в електричну мережу або тепломережу, використані для власних потреб підприємства або супутні виробничі процеси.

Таблиця 6.1 – Енергетичний потенціал біомаси в Україні

Вид біомаси	Енергетичний потенціал, млн т у.п./рік	
	Теоретичний	Технічно-досяжний
1. Тверде біопаливо		
1. Солома зернових культур (пшениця, жито, ячмінь, овес тощо)	10,39	4,32
2. Солома технічних і круп'яних культур (ріпак, гречка, просо та ін.)	2,72	1,57
3. Відходи переробної промисловості (лушпиння соняшника, гречки, рису та ін.)	1,30	0,98
4. Стебла та стрижні початків кукурудзи	5,70	3,3
5. Стебла та кошики соняшника	4,27	2,34
6. Відходи рубки та переробки деревини	2,13	1,37
7. Енергетичні культури (тополя, верба, міскантус тощо)	14,58	10,26
Всього	41,09	24,14
2. Рідке біопаливо		
8. Біоетанол	2,33	1,93
9. Біодизель	1,28	1,06
Всього	3,61	2,99
2. Рідке біопаливо		
8. Біоетанол	2,33	1,93
9. Біодизель	1,28	1,06
Всього	3,61	2,99
3. Газоподібне біопаливо		
10. Біогаз із гною та рослинних відходів	4,86	2,95
11. Біогаз зі стічних вод	0,21	0,12
12. Біогаз із полігонів твердих побутових відходів	0,77	0,38
Всього	5,84	3,45
4. Високе біопаливо		
13. Торф	0,77	0,42
Загалом	51,31	31,00

Річний технічно-досяжний енергетичний потенціал твердої біомаси в Україні є еквівалентним 35 млн т н.е., а його використання дасть змогу щорічно заощаджувати близько 40 млрд м³ природного газу. Найбільший потенціал твердої біомаси зосереджений у Вінницькій, Дніпропетровській, Житомирській, Київській, Одеській, Полтавській, Сумській, Харківській та Чернігівській областях і становить близько 2,0 млн т н.е./рік.

Слід відзначити тенденцію зростання потенціалу твердої біомаси, що зумовлено збільшенням продуктивності сільського господарства, змінами у веденні лісового господарства, змінами у поводженні з побутовими та промисловими відходами.

Енергетичні культури – це окремі види дерев та рослин, що спеціально вирощуються для виробництва твердого біопалива – швидкоростучі дерева, багаторічні трави (міскантус), однорічні трави (сорго, тритикале).

У сільському господарстві найбільш поширеною технологією заготівлі соломи стало її тюкування. Тюковану солому використовують на потреби сільгосппідприємств та присадибних господарств населення. Обсяги заготівлі соломи злакових культур визначають попитом і до недавнього часу значну частину соломи спалювали на полях.

Тюковану солому злакових культур використовують в якості палива у котельних установках. В Україні виробляють гранули із соломи злакових культур в обсязі 120 тис. т/рік, що значно менше можливостей існуючих пелетних заводів. Розширення використання солом'яних гранул потребує удосконалення котельних установок.

Солому рапсу до недавнього часу залишали на полях, але зараз її широко використовують для виробництва гранул, які мають прийнятні паливні властивості і їх успішно спалюють в котельних установках з рухомими колосниками.

Стебла кукурудзи та соняшнику ще залишають на полях після збирання врожаю. Вони також є перспективним енергетичним ресурсом, зважаючи на їх значні обсяги.

При переробці насіння соняшнику відділяються лушпиння та сторонні рослинні частки. На підприємствах олійної промисловості спалюється біля 500 тис. т лушпиння соняшнику, ще більш ніж 700 тис. т гранулюється. Гранули з лушпиння соняшнику успішно спалюють в котельних установках та печах.

До енергетичних рослин також може належати побічна продукція традиційних сільськогосподарських культур, що вирощуються з метою виробництва біодизельного пального (ріпак, соняшник), біоетанолу (кукурудза, пшениця) та біогазу (кукурудза на силос).

У поводженні з твердими побутовими відходами (ТПВ) впроваджується вилучення цінних компонентів, а частка ТПВ, що не піддається подальшому сортуванню та містить тверду біомасу, може використовуватися як паливо з відходів (RDF) у промислових печах та сміттєспалювальних установках.

Для потреб промисловості та енергетики були створені технології та обладнання для спалювання різних видів класифікованого палива, але біомаса часто є неоднорідною за фракційним складом та характеризується широкими змінами властивостей. В останні роки введені жорсткі екологічні вимоги щодо гранично допустимої емісії забруднюючих речовин, прийняті стандарти щодо підвищення енергетичної ефективності та безпеки котельних установок зі спалюванням біомаси, що стимулювало застосування нових більш досконалих технологічних процесів та обладнання.

Вибір технології та конструкції системи спалювання визначається характеристиками біомаси, що буде спалюватися, доступними її ресурсами у межах економічно прийнятної відстані її транспортування, загальними та локальними екологічними вимогами, необхідним видом енергії (теплова енергія, електроенергія) та рівнем потужності, економічними умовами функціонування енергоустановки. Таким чином, не існує універсальної технології та обладнання,

а їх вибір є результатом техніко-економічного аналізу при створенні конкретної енергетичної установки з використанням обладнання доступного на ринку.

Виконайте моделювання станції на біомасі як запропоновано в навчальному курсі:

Частина 1 - Огляд проектів когенерації в RETScreen Expert

<https://www.youtube.com/watch?v=qEYeuSly88U>

Частина 2. Енергетичне моделювання проектів когенерації в RETScreen Expert

https://www.youtube.com/watch?v=_FxqQIDSfro

Частина 3 – Ескізний проект когенераційних систем у RETScreen Expert

<https://www.youtube.com/watch?v=qTvLq4UM9qk>

Частина 4 – Аналіз централізованого опалення та охолодження за допомогою RETScreen Expert

<https://www.youtube.com/watch?v=kSweP7pjz24>

Частина 5. Біомаса, біогаз та інші види палива в RETScreen Expert

<https://www.youtube.com/watch?v=v93ZUFrpyiM>

Потужність станції на біомасі можете брати довільну . Посилання де Ви можете вибрати собі реальний об'єкт для проектування <https://www.energo.ua/ua/assets> .

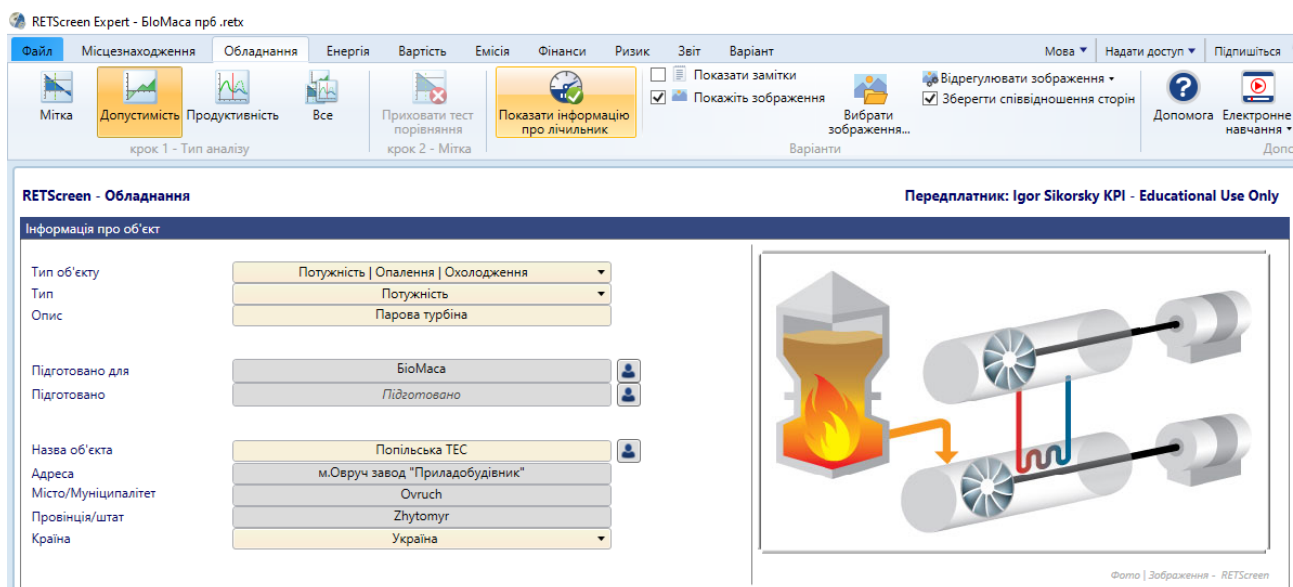
По завершенню проектування завантажується звіт з результатами, скрінами роботи де наведено їх опис також додається робочий файл RETScreen.

6.2 Приклад моделювання

Для моделювання електростанції на біомасі було обрано Поліську ТЕС, що розміщується в м. Овруч Житомирської області. Встановлена потужність становить 5900 кВт.

Перший крок в даному пункті збігається з першим кроком в попередньому занятті 5 (рис. 5.1) .

Далі, на вкладці «Обладнання» зазначаємо всі необхідні описові характеристики обраного об'єкта (рис. 6.1).



РЕТScreen - Обладнання

Передплатник: Igor Sikorsky KPI - Educational Use Only

Інформація про об'єкт

Тип об'єкту: Потужність | Опалення | Охолодження

Тип: Потужність

Опис: Парова турбіна

Підготовано для: Біомаса

Підготовано: Підготовано

Назва об'єкта: Попільська ТЕС

Адреса: м.Овруч завод "Приладобудівник"

Місто/Муніципалітет: Овруч

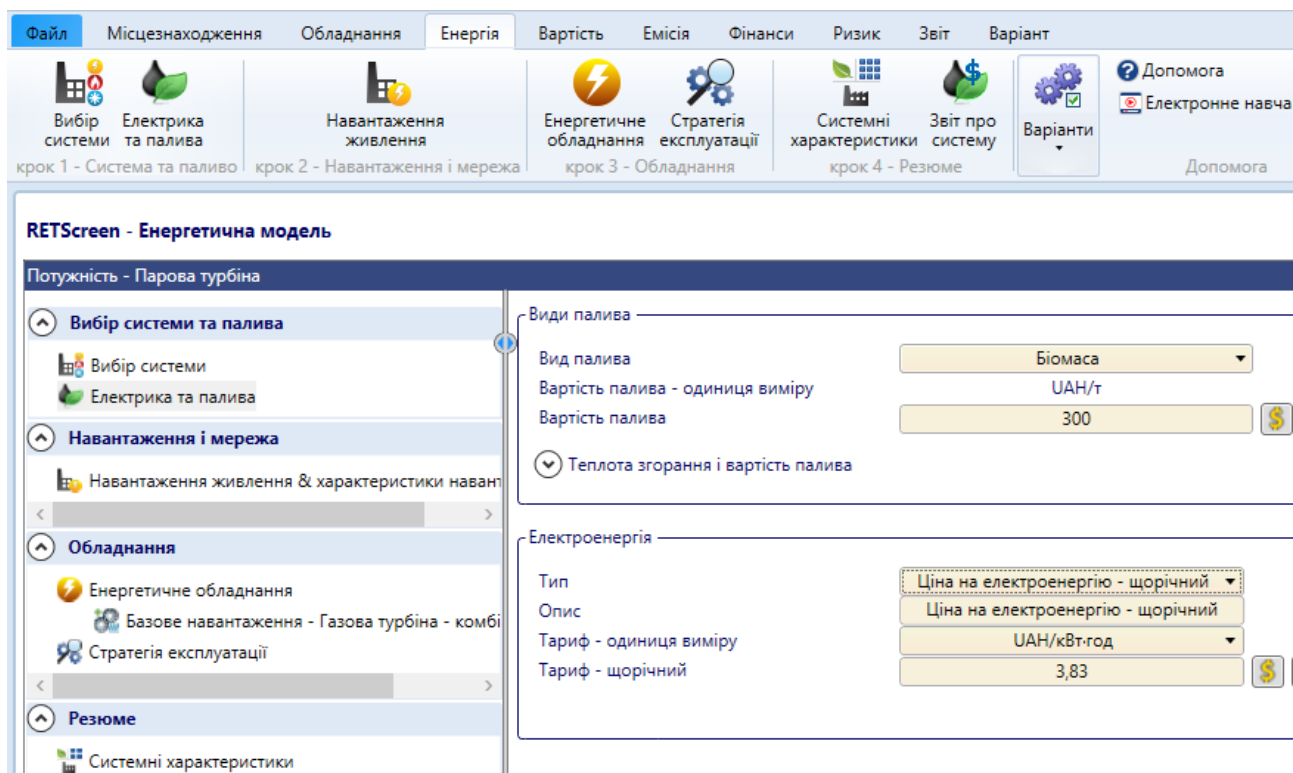
Провінція/штат: Житомир

Країна: Україна

Потужність - Парова турбіна

Рисунок 6.1 – Налаштування на вкладці «Обладнання»

Наступним кроком на вкладці «Вибір системи та палива», у пункті «Електрика та паливо» зазначаємо дані щодо види палива та його вартості (рис. 6.2).



РЕТScreen - Енергетична модель

Потужність - Парова турбіна

Вибір системи та палива

Вибір системи

Електрика та паливо

Навантаження і мережа

Навантаження живлення & характеристики навантаження

Обладнання

Енергетичне обладнання

Базове навантаження - Газова турбіна - комбі

Стратегія експлуатації

Резюме

Системні характеристики

Види палива

Вид палива: Біомаса

Вартість палива - одиниця виміру: UAH/т

Вартість палива: 300

Теплота згорання і вартість палива

Електроенергія

Тип: Ціна на електроенергію - щорічний

Опис: Ціна на електроенергію - щорічний

Тариф - одиниця виміру: UAH/кВт-год

Тариф - щорічний: 3,83

Рисунок 6.2 – Налаштування на вкладці «Енергія»

Далі, на вкладці «Обладнання», далі «Енергетичного обладнання», далі «Базове навантаження» зазначаємо всі дані щодо палива, необхідного обладнання (в даному випадку – турбіни) і його характеристик (рис. 6.3).

Файл Місцезнаходження Обладнання Енергія Вартість Емісія Фінанси Ризик Звіт Варіант Мос

Вибір системи Електрика та палива Навантаження живлення Енергетичне обладнання Стратегія експлуатації Системні характеристики Звіт про систему Варіанти Допомога Електронне навчання

крок 1 - Система та паливо крок 2 - Навантаження і мережа крок 3 - Обладнання крок 4 - Резюме

Потужність - Парова турбіна

Парова турбіна

Опис Парова турбіна

Примітка

Метод вибору палива

Один вид палива Декілька видів палива - щомісячно Декілька видів палива - кількість у відсотках

Парова турбіна - Один вид палива

Вибір палива

Вид палива Біомаса - т

Вартість палива UAH/т 300

Парова турбіна

Витрата пари ф/год 8

Робочий тиск кПа 20

Температура насичення °C 60,1

Температура перегріву °C 370

Ентальпія кДж/кг 3 218

Ентропія кДж/кг/К 9,2

Отвір відбору

Протитиск

Протитиск кПа 20

Температура °C 60,1

Якість суміші 1,18

Ентальпія кДж/кг 3 038

Теоретична паропроодуктивність (ТПП) кг/кВт-год 20

ККД парової турбіни (ПТ) % 78%

Фактична паропроодуктивність (ФП) кг/кВт-год 25,7

Резюме

Електрична потужність кВт 0,14

Мінімальна потужність % 90%

Можливість використання % 98

Виробник Siemens

Модель і потужність KKK (Siemens) CFR 5 G5

Кількість одиниць 2

Сезона ефективність %

Температура в зворотному трубопроводі °C

0,0002%

8 585 год

Рисунок 6.3 – Налаштування на вкладці «Енергія »

На вкладці «Вартість» зазначаємо фінансові показники, такі, як: початкова вартість та витрати на експлуатацію та обслуговування (рис. 6.4).

RETScreen Expert - BioMaca pr6 .retx

Файл Місцезнаходження Обладнання Енергія **Вартість** Емісія Фінанси Ризик Звіт Варіант

Рівень 1 Рівень 2 Рівень 3 Шиток управління... Примітки/діапазон Розподіл затрат Фактична вартість Друга валюта Ні База даних обладнання... Показати замітки Допомога Електронне навчання

крок 1 - Рівень аналізу Варіанти Допомога

RETScreen - Аналіз затрат Передплатник: Igor Sikorsky KPI - Educational Use Only

Початкові затрати (кредити)	Одиниця	Кількість	Ціна за одиницю	Сума
Початкова вартість			UAH	0
Показат дані				
Інженерно-технічні роботи	варт.	1	UAH 400 000 000	UAH 400 000 000
Загальні початкові затрати			UAH	400 000 000

Щорічні затрати (кредити)	Одиниця	Кількість	Ціна за одиницю	Сума
Затрати на експлуатацію й обслуговування (економія)	проект		UAH	-
Показат дані				
Вартість палива - Запропонований випадок			UAH	62 573 856
Запасні частини і робоча сила	варт.	0	UAH 0	UAH 0
Інше	варт.	0	UAH 0	UAH 0
Сумарні щорічні затрати			UAH	62 573 856

Щорічна економія	Одиниця	Кількість	Ціна за одиницю	Сума
Вартість палива - Базовий випадок			UAH	2 396 583 327
Заданий користувачем	варт.		UAH	-
Загальнорічна економія			UAH	2 396 583 327

Рисунок 6.4 – Налаштування на вкладці «вартість»

Далі налаштування на вкладці «Емісія», тут налаштування такі само, як і для моделювання СЕС (рис. 3.6).

Завершальним кроком є налаштування на вкладці «Фінанси» (обираємо рівень 2 аналізу), але так як в 1 пункті даного документу зроблено таблицю щодо всіх показників, то просто ще раз вставляю скриншот з введеними значеннями (рис. 6.5).

RETScreen - Фінансовий аналіз

Фінансові показники

Загальні		
Темп зростання вартість на паливо	%	6%
Темп інфляції	%	11%
Ставка дисконту	%	8,5%
Норма реінвестування	%	9%
Строк реалізації проекту	рік	25

Фінансові		
Стимулювання і гранти	UAH	
Коефіцієнт заборгованості	%	0%

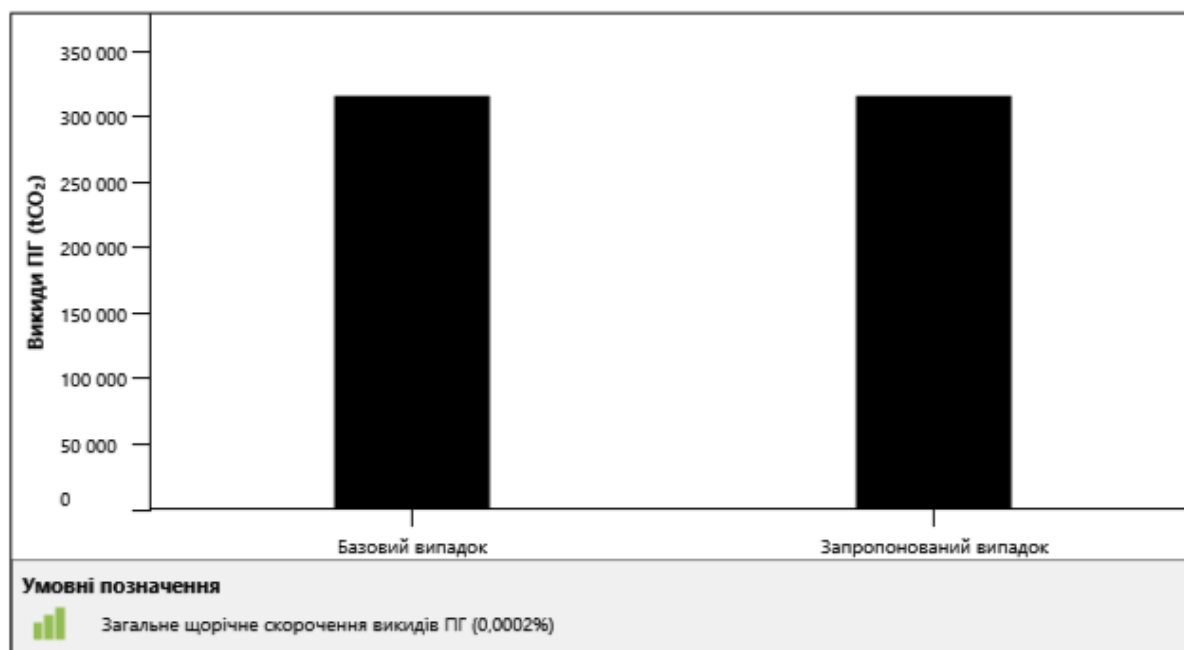
Аналіз податку на прибуток ☐

Рисунок 6.5 – Налаштування на вкладці «Фінанси»

Завершальним етапом, підведемо підсумки даного моделювання біогазової електростанції на полігоні ТВП в с. Весняне в RETScreen. Для цього із звіту, який видає сам RETScreen (він знаходиться на вкладці «Звіт») представимо скріншоти з результатами (рис. 6.6-6.8).

Викиди ПГ

Викиди ПГ



Кількість викидів ПГ



Викиди ПГ		
Базовий випадок	316 385,3	tCO ₂
Запропонований випадок	316 384,7	tCO ₂
Загальне щорічне скорочення викидів ПГ	0,6	tCO₂

Рисунок 6.6– Інформація щодо викидів парникових газів

Економічна доцільність

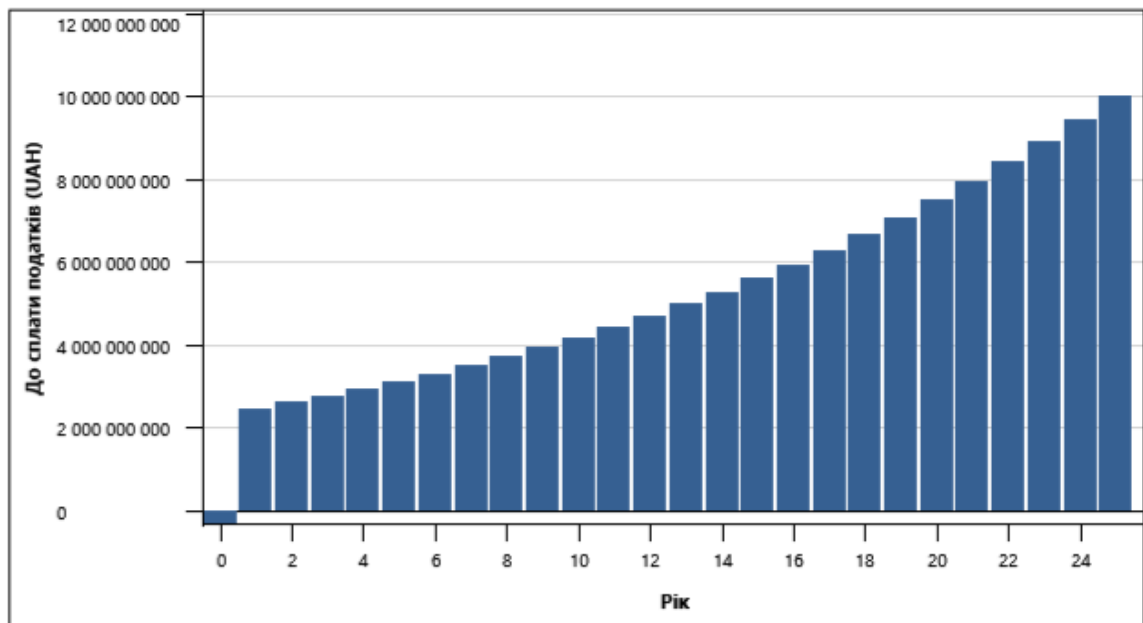
Фінансові показники

Загальні		
Темп зростання вартість на паливо	%	6%
Темп інфляції	%	11%
Ставка дисконту	%	8,5%
Норма реінвестування	%	9%
Строк реалізації проекту	рік	25
Фінансові		
Коефіцієнт заборгованості	%	15%
Займовий капітал	UAH	60 000 000
Акц. капітал	UAH	340 000 000
Відсоткова ставка по кредиту	%	7%
Строк погашення кредиту	рік	7
Виплата заємного капіталу	UAH/рік	11 113 794

Рисунок 6.7 – Економічна доцільність даного проекту

Грошовий потік

Щорічний



Сукупний

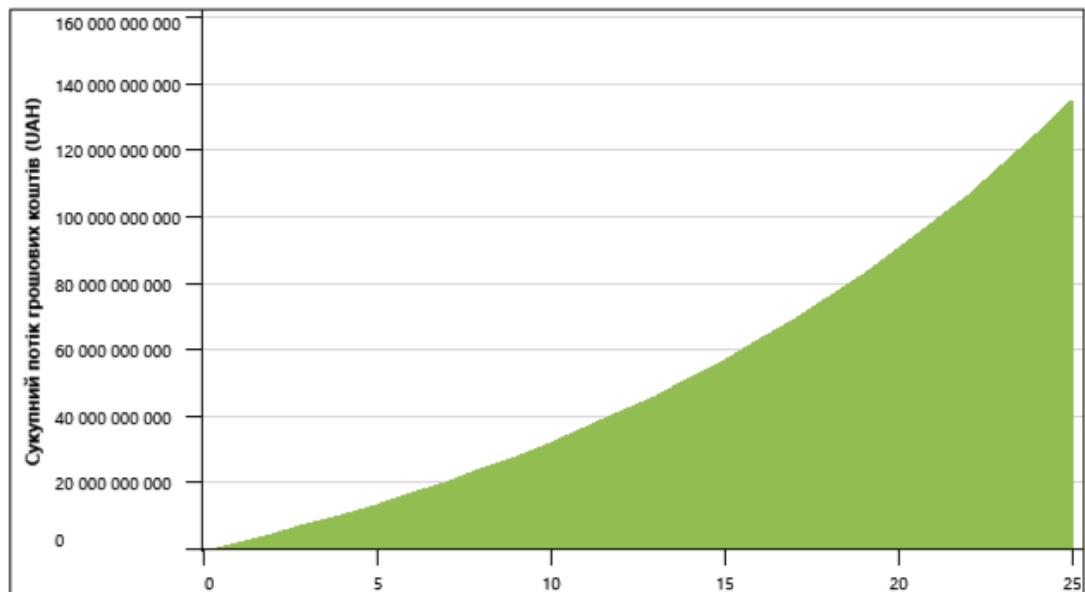


Рисунок 6.8 – Грошовий потік

Отже, в результаті моделювання даної електростанції на біомасі було отримано такі основні показники, як:

- простий термін окупності складає 1,4 р.;

- повернення капіталу складає 1,3 р.;

Таблиця 6.2 – Вихідні дані для моделювання

№	Назва установки	Встановлена вужність, МВт	Зелений тариф, Євроцент/кВт-год	Дата отримання зеленого тарифу
1	ТЕС Іванків	19,0	12,39	Листопад 2013
2	ТЕЦ Євгройл	5,0	12,39	Грудень 2013
3	ТЕЦ Кіровоградолія	12,3	12,39	Січень 2010
4	Корюківська ТЕС	4,0	12,39	Листопад 2016
5	ТЕЦ Каргілл Донецьк	2,0	12,39	Грудень 2012
6	ТЕС Полове	2,4	12,39	Листопад 2018
7	ЕС на біомасі Королівка	0,1	12,39	Січень 2018
8	Електро-генеруюча станція Березанка	5,12	12,39	Січень 2018
9	Смілянська ТЕЦ	8,5	12,39	Червень 2010
10	ЕС на біомасі Югеноергопромтранс 1 черга	5,0	12,39	Листопад 2018
11	БіоТЕС Біо Електрикс	6,0	12,39	Жовтень 2020
12	ТЕС Ейджиел Енерджи	7,0	12,39	Січень 2020
13	БіоТЕС ПГС-Енергія	2,7	12,39	Квітень 2020
14	ТЕС на біопаливі Аякс Дніпро 1 черга	16,0	12,39	Листопад 2019
15	БіоТЕС Корсунь Еко Енерго	7,5	12,39	Жовтень 2019
16	БіоТЕС Міськтепловоденергія	1,6	12,39	Листопад 2019
17	БіоТЕС Подільська	5,9	12,39	Грудень 2019
18	БіоТЕС Делятин	0,05	12,39	Грудень 2019
19	БіоТЕС Біотес	6,0	12,39	Грудень 2020

6.3 Контрольні питання

1. Що таке біомаса ?
2. На які групи можна розділити біомасу?
3. Які джерела енергії можна замінити енергією біомаси?
4. Які області України мають найбільший потенціал біомаси?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №7. ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ НА ПРОМИСЛОВОМУ ОБ'ЄКТІ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.

Тривалість практичної роботи – 2 год.

Мета роботи – Навчитися моделювати енергетичний об'єкт, на прикладі промислового виробництва, з подальшим аналізом його енергоспоживання. Формувати перелік управлінських рішень спрямованих на підвищення ефективності енергозабезпечення.

7.1 Основні теоретичні відомості

Протягом 2007-2017 рр. спостерігається поступове зменшення енергоємності ВВП України: у 2018 р. її рівень був на 76,5% меншим за показник 1990 р. та у 2,5 рази меншим за пікове значення у 1996 р. У той же час з 1990 р. енергоємність світового ВВП скоротилась у 1,5 рази. Однак, навіть найкращий український показник енергоємності ВВП досі не досяг рівня світового у 1990 р.

Причинами енергоємності ВВП є застарілість обладнання та технологічних процесів, висока доля енергоємних виробництв у ВВП країни, недостатньо розвинені сфери інформаційних технологій та послуг.

При цьому неефективність використання енергії спостерігається навіть на фоні зменшення її споживання у кількісному вираженні

Головним фактором, що вплинув на зменшення промислового енергоспоживання, стало значне скорочення виробництва. Цю тенденцію можна розділити на декілька етапів. Зокрема, криза 1990-1999 рр. – період найбільшого скорочення вироблення промислової продукції, а отже й необхідної для цього енергії. У 2000 – 2007 рр. відбувається стабілізація та зростання ВВП, однак за рахунок трансформації економіки та збільшення частки торгівлі, послуг та

фінансового сектору порівняно з промисловими галузями. Протягом 2008-2015 рр. спостерігається чергове падіння виробництва. Світова фінансова криза (2008-2009 рр.) значною мірою вплинула на ключові галузі, орієнтовані на експорт: металургія, хімічна промисловість, машинобудування тощо..

Підвищення енергоефективності промислових підприємств сприяє створенню нових робочих місць. В Сполучених Штатах Америки на 1 млн \$ інвестицій в проєкти з енергоефективності створюється до 20 робочих місць в рік. В Україні лише один закон «Про енергетичну ефективність будівель» щорічно може сприяти створенню до 1 135 робочих місць для енергоаудиторів будівель. Інтенсифікувавши політику щодо підвищення енергоефективності промислових підприємств, зазначений показник може бути значно збільшений, як за рахунок створення прямих та непрямих робочих місць, так й за рахунок - індукованих.

Впровадження енергоефективних заходів — оптимальний шлях до скорочення загальних витрат підприємства та його переходу на шлях зеленого виробництва.

Такі дії вплинуть на конкурентоспроможність: як з точки зору зменшення вартості продукції, так і у перспективі розширення ринку збуту товарів шляхом створення іміджу екобренду. Проте багато підприємств не використовують цю можливість.

Близько 48 тисячі промислових підприємств різних форм власності працювали до початку війни в Україні.

Всі вони є одним з основних споживачів енергоресурсів в країні – понад 30% загальних енерговитрат припадають саме на промисловий сектор.

Потенціал енергоефективності на підприємствах значний. За оцінками експертів, він сягає до 30% від загального енергоспоживання промислового сектору.

На українських виробництвах традиційно не використовують усі доступні та економічно доцільні технології. Не поширене й застосування управлінських

практик, здатних підвищити ефективне використання енергії, а саме регулярне проведення енергетичного аудиту та впровадження системи енергоменеджменту за стандартами ISO.

В середньому до 35% потенціалу енергоефективності, визначеного на виробництві, можливо реалізувати шляхом малозатратних енергоефективних заходів, вартість яких не перевищує 20 000 євро.

Попри таку статистику, підприємства не відчують нагальної потреби підвищувати енергоефективність.

В більшості випадків на промислових підприємствах при запуску, агрегати знаходяться у безперервному робочому стані в заданих режимах. Навіть вночі, при низькому споживанні води, вони працюють в такому ж режимі як вдень.

Основними причинами низької енергетичної ефективності підприємств є:

- значний фізичний і моральний знос основних засобів і, як наслідок, висока аварійність обладнання;
- низький рівень контролю та регулювання споживання енергоресурсів;
- підвищені втрати у виробничих процесах і висока витрата первинних паливно-енергетичних ресурсів;
- нестача кваліфікованих фахівців у сфері енергетичного менеджменту;
- низький рівень мотивації персоналу до енергозбереження тощо.

Природно, ставлення керівництва підприємства до енергозбереження визначається часткою витрат на енергетичні ресурси в собівартості продукції. І якщо в хімічній промисловості частка енергетичних витрат може досягати 40 %, то для машинобудування ця цифра, як правило, коливається в межах 6-15 %.

Промислові підприємства в процесі модернізації повинні впроваджувати такі типи технологій, які дають значний енергозберігаючий ефект:

- загальні технології для багатьох підприємств, пов'язані з використанням енергії (двигуни зі змінною частотою обертання, теплообмінники, стиснене повітря, освітлення, пар, охолодження, сушка, тощо);

– більш ефективне виробництво енергії, включаючи сучасні котельні, когенерацію (тепло та електрику), а також трігенерація (тепло, холод, електрика);

– заміна старого промислового обладнання на нове, яке споживає значно менше енергії;

– альтернативні джерела енергії.

Режим енергозбереження особливо актуальний для механізмів, які частину часу працюють зі зниженим навантаженням – конвеєри, насоси, вентилятори. Існує чимало пристроїв, які дозволяють домогтися зменшення втрат при роботі електроустаткування, основними з яких є конденсаторні установки і частотно регульовані приводи, які можуть бути впроваджені на більшості промислових підприємств.

Впровадження стратегії енергозбереження допомагає підприємству уникнути ризиків і отримати конкурентну перевагу щодо інших компаній, що представляють свою продукцію або послуги на ринку. Дана стратегія повинна стати основою для ефективного управління процесами енергозбереження в рамках проведення довготермінової енергетичної, економічної та інноваційної політики підприємства.

Вибір тієї або іншої стратегії енергозбереження залежить, перш за все, від цілей підприємства та його потенційних можливостей щодо реалізації стратегії. Крім того, в умовах економічної самостійності підприємств одним з головних критеріїв вибору стратегії впровадження технологій енергозбереження та стимулювання процесів впровадження енергозберігаючих заходів є оцінки їх економічної ефективності.

Таблиця 7.1 – Базові стратегії управління профілем навантаження

Стратегія	Опис механізму	Приклад для промисловості
-----------	----------------	---------------------------

<i>Зрізання піків (Peak Shaving)</i>	Зниження споживання з мережі в години максимального навантаження або найвищих цін.	Перехід на живлення від систем накопичення енергії (УЗЕ) під час ранкового чи вечірнього піку.
<i>Перенесення навантаження (Load Shifting)</i>	Зсув енергоємних, але не критичних до часу виробничих процесів на позапікові години.	Перенесення роботи потужних насосних станцій, млинів або плавильних печей на нічний тариф.
<i>Заповнення провалів (Valley Filling)</i>	Збільшення корисного навантаження в години надлишку дешевої енергії в системі.	Заряджання акумуляторних батарей або теплових накопичувачів уночі.
<i>Гнучке реагування (Flexible DR)</i>	Короткочасне (від кількох хвилин до годин) зниження потужності за сигналом системного оператора.	Тимчасове відключення допоміжного обладнання (наприклад, систем промислового кондиціонування).

До основних ефектів від реалізації стратегії енергозбереження промислового підприємства можуть бути віднесені:

— збільшення продуктивності технологічних установок та обладнання в разі впровадження заходів щодо технологічного енергозбереження, зниження енерговитрат на одиницю продукції та поліпшення її якості;

— економія енергії та інших ресурсів, що приводить до зниження матеріальних витрат та собівартості продукції;

– скорочення платежів підприємства за забруднення навколишнього середовища в зв'язку із зменшенням кількості витрачених паливно-енергетичних ресурсів.

Для промислового сектору заходи управління попитом традиційно поділяються на стратегії керування графіком навантаження, впровадження власних генеруючих та акумулюючих потужностей, а також використання сучасних програмних рішень.

Сучасне управління попитом на енергоресурси на промислових підприємствах вже давно вийшло за межі ручного вимкнення обладнання чи простого переведення роботи в нічну зміну. Сьогодні це високоавтоматизований процес, який базується на зборі великих даних, прогностичній аналітиці, хмарних обчисленнях та алгоритмах штучного інтелекту.

Програмні рішення в цій сфері виконують роль «цифрового мозку», який координує енергоспоживання, власну генерацію, акумулятори та ринкові ціни в режимі реального часу.

Для побудови ефективної системи управління попитом промислові підприємства використовують стек взаємоінтегрованого програмного забезпечення. Його можна розділити на три рівні:

1. Системи енергетичного менеджменту (EMS / aEMS)

Advanced Energy Management Systems — це фундамент цифрової енергетики підприємства, що відповідає вимогам стандарту ISO 50001. На підприємстві збирають дані з тисяч «розумних» лічильників, датчиків температури, тиску та завантаження ліній. Функціонал програмного забезпечення будує базову лінію споживання і виявляють енергетичну гнучкість — тобто визначають, яке саме обладнання (насоси, компресори, печі) можна тимчасово вимкнути або розвантажити без шкоди для технологічного процесу та обсягів випуску продукції. До сучасних рішень слід віднести: Siemens Desigo CC, Schneider Electric EcoStruxure Power Monitoring Expert, ABB Ability Energy Management.

2. Платформи прогнозування та оптимізації (DERMS)

Distributed Energy Resource Management Systems необхідні підприємствам, які мають власну генерацію (СЕС, ВЕС, когенерація, біогаз) та системи накопичення (УЗЕ). З використанням алгоритмів машинного навчання (Machine Learning) здійснюється прогнозування:

- власної генерації ВДЕ (на основі метеоданих).
- власного споживання підприємства (на основі планів виробництва та графіків змін).
- погодинних цін на ринку електроенергії (РДН, ВДР, балансуючий ринок).

В подальшому функціонал програми щохвилини прораховує найбільш економічно вигідний сценарій: наприклад, «Якщо ціна на ринку висока, тоді відбувається зниження споживання на лінії А на 15%, здійснюються заходи щодо розряджання системи накопичення, а надлишок енергії з біогазової установки продають в мережу».

3. Платформи агрегації та Віртуальні електростанції (VPP)

За допомогою програмних інструментів об'єднують гнучку потужність багатьох споживачів в один пул для виходу на ринок допоміжних послуг (РПЧ, РВЧ) НЕК «Укренерго». Коли системному оператору потрібно збалансувати енергосистему, VPP-платформа автоматично надсилає сигнал на EMS підприємства. Програма миттєво (за секунди або хвилини) знижує споживання або активує видачу енергії з УЗЕ, а підприємство отримує плату за надання резерву.

Приклади апаратних рішень: CyberGrid, AutoGrid (Schneider Electric), Next Kraftwerke.

Виконайте моделювання станції на біомасі як запропоновано в навчальному курсі:

Частина 1 – Огляд енергоефективних проєктів у RETScreen Expert

<https://www.youtube.com/watch?v=Zf0paNBPXWY>

Частина 2. Енергетичне моделювання всього об'єкта в RETScreen Expert

<https://www.youtube.com/watch?v=Qy05sF9dpo8>

Частина 3. Розуміння результатів моделі енергоефективності в RETScreen Expert

<https://www.youtube.com/watch?v=wYCDq7E294w>

Частина 4. Перевірка енергетичної моделі будівлі та фабрики в RETScreen Expert

<https://www.youtube.com/watch?v=Z94dCI-rZP4>

7.2 Приклад моделювання

Для моделювання промислового об'єкту було обрано металургійний комбінат.

Для моделювання даного промислового об'єкту в RETScreen першим кроком на вкладці «Місце», а саме в підвкладці «Промисловий» (рис. 7.1) позначаємо місце розташування, тип об'єкту (Метал– виробничий).

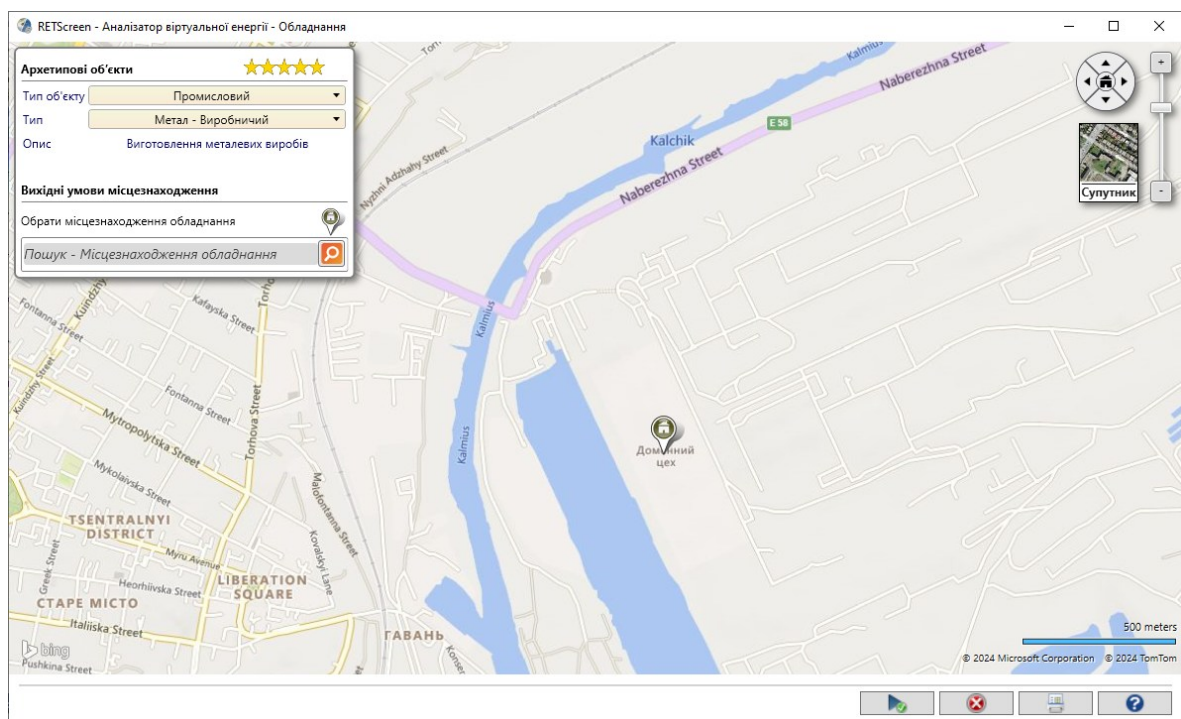


Рисунок 7.1 - Перший крок моделювання промислового об'єкту.

Далі, на вкладці «Обладнання» зазначаємо всі необхідні описові характеристики обраного об'єкта (рис. 7.2).

Мітка - Промисловий - Метал - Виробничий

Розміри обладнання - Фактичне: 95
 Розміри обладнання - Прототип: 95
 Працівник: Працівник

☒ **Споживання палива**

Інтенсивність енергоспоживання

Одиниця енергії: кВт-год
 Еталонна одиниця: Працівник

Мітка	67 934	кВт-год/Працівник
Мінімум (Типовий)	48 620	кВт-год/Працівник
Максимум (Типовий)	83 525	кВт-год/Працівник
Базовий випадок	31 615	кВт-год/Працівник
Базовий рік		

Ставити мету: Мета
 Рік: Мета
 Мета: -29%
 Запропонований випадок: 22 494 кВт-год/Працівник

Обладнання - План

Споживання палива

	Щорічний
Базовий випадок	3 003 396
Запропонований випадок	2 136 905

Рисунок 7.2 – Налаштування на вкладці «Обладнання»

На вкладці «Вартість» зазначаємо фінансові показники, такі, як: початковий кредит, витрати на експлуатацію та обслуговування (рис. 7.3).

Файл Місцезнаходження Обладнання Енергія **Вартість** Емісія Фінанси Ризик Звіт Варіант

Рівень 1 Рівень 2 Рівень 3 Щиток управління... Примітки/діапазон Друга валюта База даних обладнання... Показати замітки Допомога Електронне навчання

крок 1 - Рівень аналізу Варіанти

RETScreen - Аналіз затрат

Початкові затрати (кредити)

Одиниця	Кількість	Ціна за одиницю	Сума
Додаткові капітальні затрати		UAH	1 119 728
Показат дані			
Заданий користувачем	варт.	1	UAH 3 000 000
Загальні початкові затрати			UAH 4 119 728

Щорічні затрати (кредити)

Одиниця	Кількість	Ціна за одиницю	Сума
Затрати на експлуатацію й обслуговування (економія)	проект	UAH	(69 476)
Показат дані			
Вартість палива - Запропонований випадок		UAH	172 788
Заданий користувачем	варт.	1	UAH 5 000 000
Сумарні щорічні затрати			UAH 5 103 311

Щорічна економія

Одиниця	Кількість	Ціна за одиницю	Сума
Вартість палива - Базовий випадок		UAH	248 556
Заданий користувачем	варт.		UAH -
Загальнорічна економія			UAH 248 556

Перейдіть на: Емісія

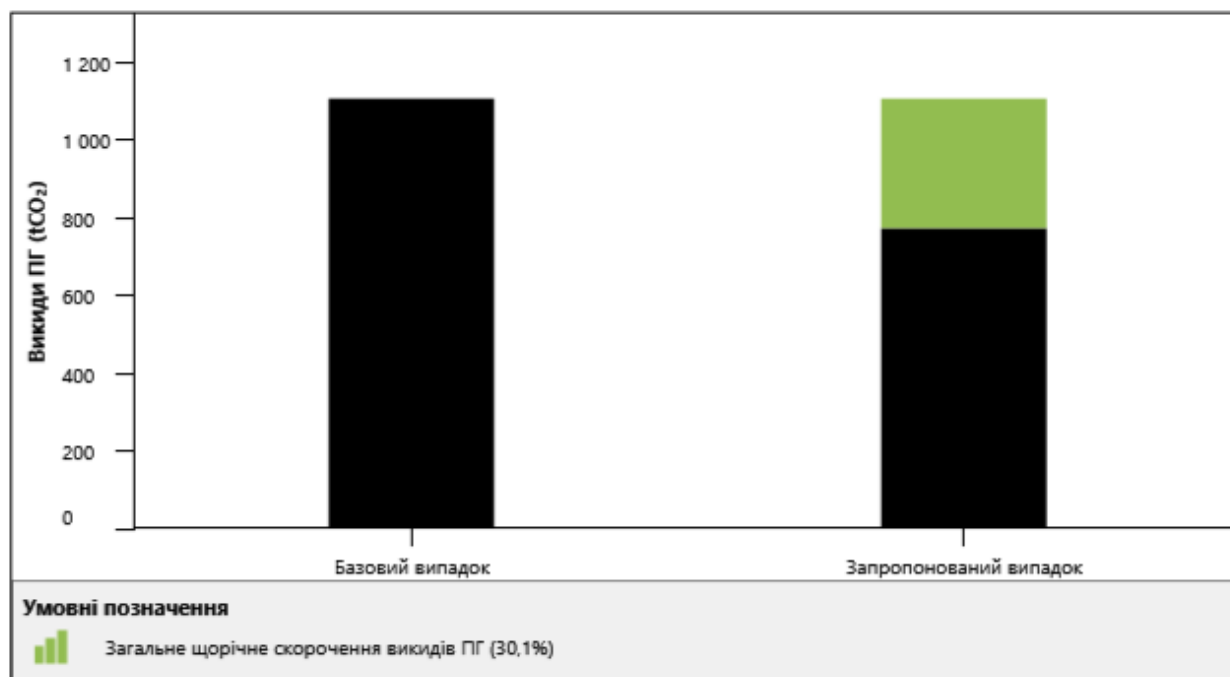
Рисунок 7.3 – Налаштування на вкладці «Вартість»

Далі налаштування на вкладці «Емісія», тут налаштування такі само, як і для моделювання СЕС (рис. 3.6).

Завершальним етапом, підведемо підсумки даного моделювання виробничого об'єкту в RETScreen. Для цього із звіту, який видає сам RETScreen (він знаходиться на вкладці «Звіт») представимо скриншоти з результатами (рис. 7.4-7.8).

Викиди ПГ

Викиди ПГ



Кількість викидів ПГ



Викиди ПГ		
Базовий випадок	1 106,5	tCO ₂
Запропонований випадок	773,2	tCO ₂
Загальне щорічне скорочення викидів ПГ	333,3	tCO₂

Рисунок 7.4— Інформація щодо викидів парникових газів

Економічна доцільність

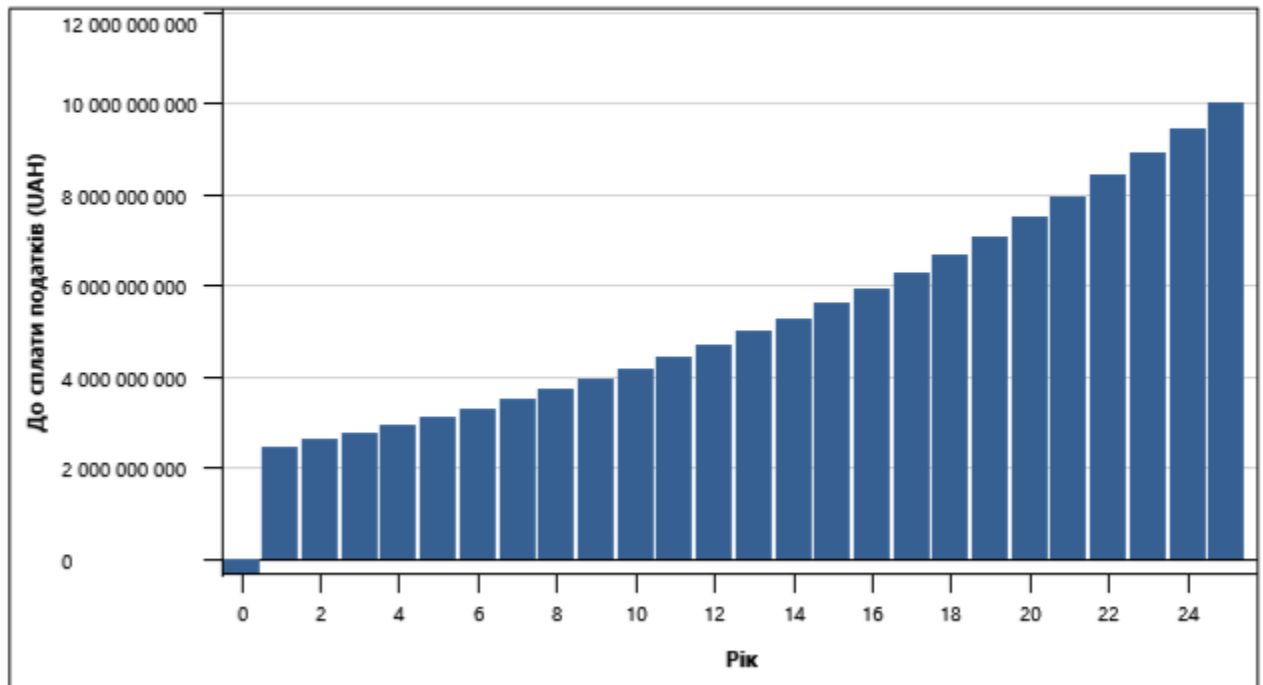
Фінансові показники

Загальні		
Темп зростання вартість на паливо	%	6%
Темп інфляції	%	10,2%
Ставка дисконту	%	9%
Норма реінвестування	%	25%
Строк реалізації проекту	рік	15
Фінансові		
Стимулювання і гранти	UAH	0
Коефіцієнт заборгованості	%	15%
Займовий капітал	UAH	617 959
Акц. капітал	UAH	3 501 769
Відсоткова ставка по кредиту	%	7%
Строк погашення кредиту	рік	7
Виплата заємного капіталу	UAH/рік	114 664

Рисунок 7.5– Економічна доцільність даного проекту

Грошовий потік

Щорічний



Сукупний

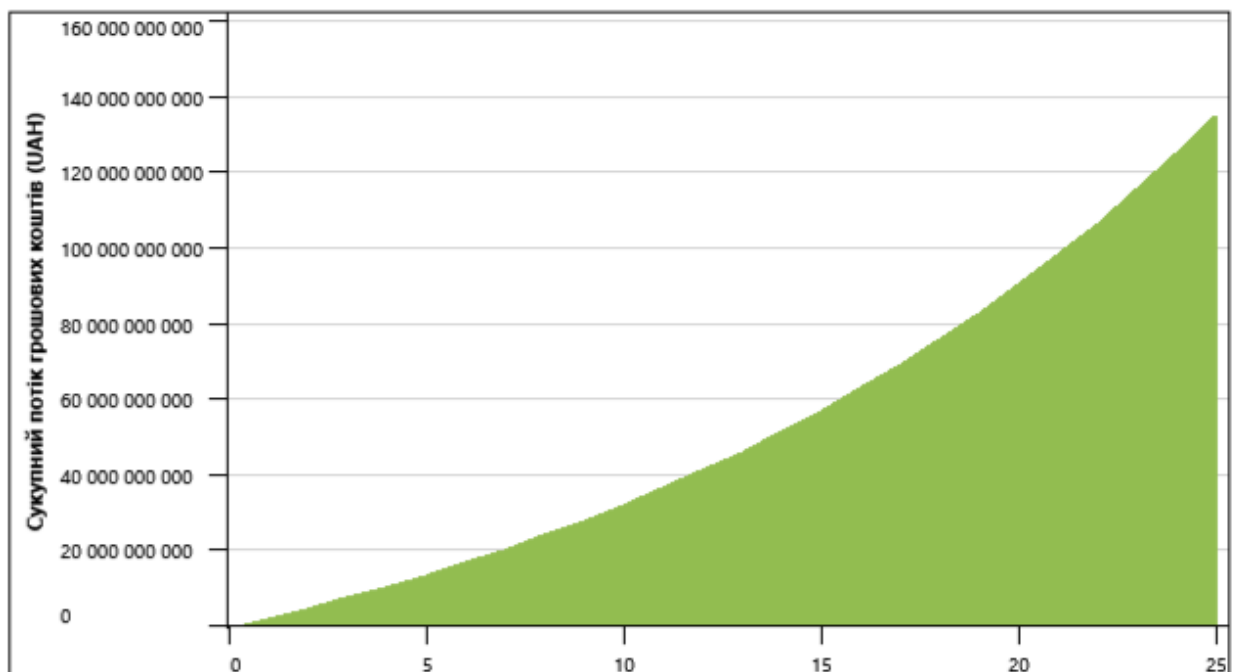


Рисунок 7.6 – Грошовий потік

7.3 Контрольні питання

1. Перелічіть основні причини низької енергоефективності на промислових підприємствах.
2. З якими причинами пов'язаний спад споживання електричної енергії промисловістю?
3. Перелічіть переваги підвищення енергоефективності промислових підприємств.
4. Які нормативно правові акти регламентують підвищення енергоефективності?
5. Як оцінюється потенціал енергоефективності на підприємствах?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 8. ПРОЄКТУВАННЯ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З МОЖЛИВІСТЮ АКУМУЛЮВАННЯ ЕНЕРГІЇ

Тривалість практичної роботи – 2 год.

Мета роботи – Навчитися моделювати енергетичний об'єкт з комбінованою системою енергозабезпечення з можливістю акумулювання енергії.

8.1 Основні теоретичні відомості

Протягом останнього десятиліття виникла проблема ефективного управління зростаючим обсягом нестабільних відновлюваних джерел енергії, таких як фотоелектричні системи, та змінливого попиту на електроенергію від нових споживачів, таких як електромобілі та індивідуальні установки зберігання енергії (УЗЕ). Ця проблема викликає значний інтерес у високотехнологічних дослідженнях [2]. Дослідження показують, що процеси споживання енергії домогосподарств та виробництва в житловому секторі є недостатньо дослідженими та слабо контрольованими в енергетичних системах. З'являється новий учасник у енергетичних системах - просьюмери, що означає побутові абоненти, які можуть виробляти енергію, а не лише споживати її.

Інтенсивний розвиток відновлюваної енергетики, особливо сонячних електричних станцій (СЕС) і вітрових електричних станцій, створює ризики порушення балансової надійності енергосистеми. Для забезпечення подальшого зростання частки ВДЕ, необхідно збільшити обсяг первинного та вторинного регулювання і резерву заміщення. Необхідність розвитку сфери використання систем акумулювання електроенергії необхідно у першу чергу, через світову тенденцію до збільшення попиту на електроенергію та кількості об'єктів електрогенерації з відновлюваних джерел.

При злагодженій роботі, електроакумуючі системи сприятимуть стабільному функціонуванню енергосистеми, зменшенню дисбалансів у мережі, викликаних нерівномірними навантаженнями від споживачів, і збереженню темпів введення об'єктів відновлюваної електроенергетики.

Використання ВДЕ має ряд позитивних якостей, які забезпечують їх активний розвиток. Зокрема можна визначити: відсутність екологічних забруднень у ході експлуатації, повсемісне використання, мала необхідність у технічному обслуговуванні й інші. Поряд із позитивними властивостями є ряд недоліків, основним з яких є недостатня прогнозованість обсягів генерації в залежності від часу та вплив на безпеку електропостачання [21 – 23]. Але інтегрувавши в систему генерувальної установки УЗЕ, можна суттєво зменшити негативний вплив фактору непрогнозованої генерації [24 – 26]. Застосування УЗЕ допомагає накопичувати надлишки, які генеруються ВДЕ та використовувати накопичену енергію у моменти дефіциту та/або відсутності генерації від ВДЕ [27].

Інтеграція УЗЕ, на базі АКБ, у структуру схем СЕС є перспективним напрямком, оскільки дає можливість вирішити ряд проблем, які виникають в об'єднаній енергетичній системі (ОЕС) під впливом роботи у ній СЕС.

У першу чергу, акумулювання електричної енергії дає змогу коригувати графік вихідної потужності, відповідно до потреб інших споживачів оператора системи розподілу (ОСР), до мереж якого підключено СЕС. При встановленні НЕ до структури СЕС, збільшується встановлена потужність маневрених потужностей регіону, які є невід'ємною частиною ОЕС, у вигляді гідро та тепло електричних станцій (частково маневрені), ГАЕС, газотурбінних установок.

Для оператора ОЕС наявність СЕС дає змогу уникнути недовідпуску електроенергії у періоди, коли ОСР встановлює граничні межі максимальної потужності. Також з'являється можливість у виставленні мінімальної потужності СЕС у точці приєднання до мереж ОСР. Керування величиною потужності прямо впливає на рівень напруги в точці приєднання. Тобто

інтегрування УЗЕ до структури електроустановок СЕС дає можливість керування такого показника якості електроенергії, як відхилення напруги.

Використання УЗЕ з керованими інверторами, які описано, дасть можливість керувати рівнем коефіцієнта потужності у точці приєднання СЕС.

Питання гарантованого забезпечення постачання електричної енергії споживачу, яке працює в автономній системі ВДЕ-НЕ-споживач, є основним критерієм при виборі встановлених потужностей генератора на основі ВДЕ й ємності УЗЕ [28]. Також застосування УЗЕ дає можливість знизити коливання напруги в системі ВДЕ-споживач [29, 30].

У результаті аналізу параметрів сучасних НЕ, АБ різних типів, з урахування питомого показника енергоемності 30–400 Вт·год/кг та кількості життєвих циклів 500–1200, можна вважати найбільш придатними для тривалого використання у системі ВДЕ-НЕ-споживач. Одним із шляхів іршення завдання забезпечення гарантованого електропостачання є вибір такого УЗЕ, який забезпечить накопичення всього надлишку енергії, згенерованої ВДЕ та спожитої навантаженням [31, 32]. Важливою властивістю системи ВДЕ-УЗЕ-споживач є постійна наявність надлишку генерації, яку можна використати у період дефіциту та/або відсутності енергії від ВДЕ. Визначення параметрів УЗЕ для покриття потреб автономного споживача є достатньо важливим і у той же час недостатньо опрацьованим питанням. Тому актуальним питанням залишається використання УЗЕ у складі енергетичного хаба [33], який має власні УЗЕ та взаємодіє з нергосистемою на різних ринкових умовах [34].

Необхідно враховувати, що існують обмеження, які не дають можливості використати всі 100 % закумульованої енергії в АБ, що обумовлено типом накопичувача [35].

УЗЕ (установка зберігання енергії або BESS (battery energy storage system)) — це комплексна система акумулювання електричної енергії, яка забезпечує накопичення електроенергії в періоди її доступності та автоматичну віддачу в

момент потреби, підтримуючи безперервність роботи підприємства незалежно від стану електромережі.

На відміну від генератора, який виробляє енергію під час роботи, установки зберігання енергії працюють як буфер між джерелами електроживлення та споживачами. BESS-система складається з трьох основних компонентів: акумуляторні модулі виконують функцію накопичення енергії, інвертор перетворює постійний струм на змінний і навпаки, а система керування аналізує потреби підприємства та приймає рішення про заряд або розряд батарей.

Процес роботи виглядає так: коли в мережі є електрика, в період дії низьких тарифів або працює сонячна/вітрова станція з надлишком потужності, УЗЕ накопичує енергію. В момент відключення мережі або пікового навантаження система миттєво починає віддавати накопичену енергію без жодних затримок. Перехід відбувається за мілісекунди, що критично важливо для виробництв із чутливим обладнанням.

Головна відмінність від генератора – автономність і швидкість реакції. Генератор потребує палива, часу на запуск та регулярного обслуговування. УЗЕ (BESS energy storage) працює безшумно, запускається миттєво та може інтегруватися в єдину енергосистему або мікромережу (microgrid) підприємства, керуючи потоками енергії розумно та ефективно.

Сучасні системи накопичення енергії для бізнесу базуються переважно на літій-іонних технологіях. Ці батареї забезпечують високу щільність енергії, тривалий строк служби та стабільність роботи в широкому діапазоні температур, що критично для промислових умов.

Для бізнес-застосувань найбільш поширені модульні рішення. Модульність означає, що система складається з окремих блоків, які можна нарощувати залежно від потреб підприємства. У вересні 2025 року DTEK запустив найбільший в Україні та один з найбільших у Східній Європі комплекс систем зберігання енергії потужністю 200 МВт та ємністю 400 МВт·год, який складається з шести об'єктів різної потужності від 20 до 50 МВт.

Це дозволяє почати з базової конфігурації та розширювати потужність без заміни всієї BESS-системи. Для невеликого виробництва може бути достатньо системи на 50-100 кВт·год, тоді як великі промислові об'єкти встановлюють установки для зберігання енергії ємністю понад 500 кВт·год.

Ключовий фактор вибору – не технічна специфікація BESS-батарей, а те, як система інтегрується в енергетичну інфраструктуру підприємства. Системний підхід до енергоменеджменту та правильна конфігурація є запорукою ефективної роботи УЗЕ на довгі роки.

Функції які може виконувати УЗЕ:

1. *Резервне живлення під час блекаутів* – найочевидніший, але не єдиний сценарій використання. Коли мережа відключається, УЗЕ миттєво бере на себе живлення критичних споживачів. Для виробничого підприємства це означає, що технологічний процес не переривається, обладнання не виходить з ладу через різке відключення, а простої не перетворюються на багатомільйонні збитки.

2. *Стабілізація напруги* – важливий аспект, про який часто забувають. Українська мережа працює нестабільно навіть тоді, коли світло є. Перепади напруги виводять з ладу електроніку, двигуни та прецизійне обладнання. УЗЕ (ESS/BESS storage) виконує функцію буфера, згладжуючи стрибки та забезпечуючи стабільні параметри струму.

3. *Мінімізація простоїв* стосується не лише аварійних відключень. Навіть короткочасна втрата живлення на 2-3 секунди може зупинити конвеєр, перервати технологічний цикл або пошкодити партію продукції. Системи накопичення електричної енергії усувають цю проблему, забезпечуючи безперервність навіть при миттєвих просіданнях мережі.

4. *Оптимізація пікових навантажень* дозволяє знизити витрати на електроенергію. З липня 2025 року максимальні граничні ціни на РДН під час пікових вечірніх годин (17:00-23:00) становлять 15 000 грн/МВт·год, що еквівалентно 15 грн за кВт·год, тоді як у нічні та денні періоди – лише 5 600 грн/МВт·год (5,6 грн/кВт·год). УЗЕ заряджається в години низького тарифу або

при надлишку генерації сонячної чи вітрової генерації і віддає енергію під час пікового навантаження. Для підприємства зі споживанням 1 000 кВт·год щодня, з яких 300 кВт·год припадає на пікові години, економія може становити до 2 500-4 500 грн на добу при використанні стратегії арбітражу тарифів.

5. *Інтеграція разом із сонячною електростанцією* перетворює СЕС із джерела зеленої енергії на повноцінну енергосистему. Україна встановила 500 МВт сонячної генерації протягом першої половини 2025 року, але без накопичення надлишок енергії від сонячних панелей просто втрачається або йде в мережу за мінімальною ціною. З УЗЕ вся згенерована енергія використовується максимально ефективно.

Сонячні модулі генерують електрику протягом світлового дня, але пік генерації не завжди збігається з піком споживання. Вранці та ввечері, коли підприємство працює на повну потужність, сонця ще немає або вже немає. Установки зберігання енергії вирішують цю проблему, акумулюючи надлишок під час активної генерації.

Коли сонячна станція виробляє більше енергії, ніж споживає підприємство, надлишок автоматично направляється на заряд BESS-батарей. Система керування аналізує баланс між генерацією, споживанням та рівнем заряду, оптимізуючи потоки енергії в режимі реального часу. Якщо батареї повністю заряджені, а надлишок є, енергія може передаватися в мережу або обмежуватися генерація.

Використовується накопичена енергія тоді, коли сонця немає, але підприємство працює: рано вранці, увечері, вночі або під час хмарної погоди. УЗЕ також забезпечує роботу в період блекаутів, коли і мережа, і СЕС недоступні. За наявності достатньої ємності система накопичення та зберігання енергії може підтримувати роботу підприємства протягом кількох годин або навіть повної робочої зміни.

За даними ІЕА (Міжнародне енергетичне агентство), глобальний ринок систем накопичення щороку зростає на 25-30%, а BloombergNEF (BNEF)

прогнозує, що до 2030 року понад 60% комерційних і промислових СЕС у світі будуть інтегровані з BESS.

СЕС без УЗЕ – це обмежене рішення, яке працює лише за сприятливих умов. Підприємство залишається залежним від мережі, не може використовувати всю згенеровану енергію та втрачає автономність. Інтеграція системи накопичення енергії перетворює сонячну станцію на повноцінну енергетичну систему з високим рівнем незалежності [36].

8.2 Приклад моделювання

Для моделювання такого об'єкту з комбінованою системою енергозабезпечення в RETScreen першим кроком на вкладці «Місце», а саме в підвкладці «Потужність/ Акумуляування / Автон. система» (рис. 8.1) позначаємо місце розташування, тип об'єкту (Фотоелектричний).

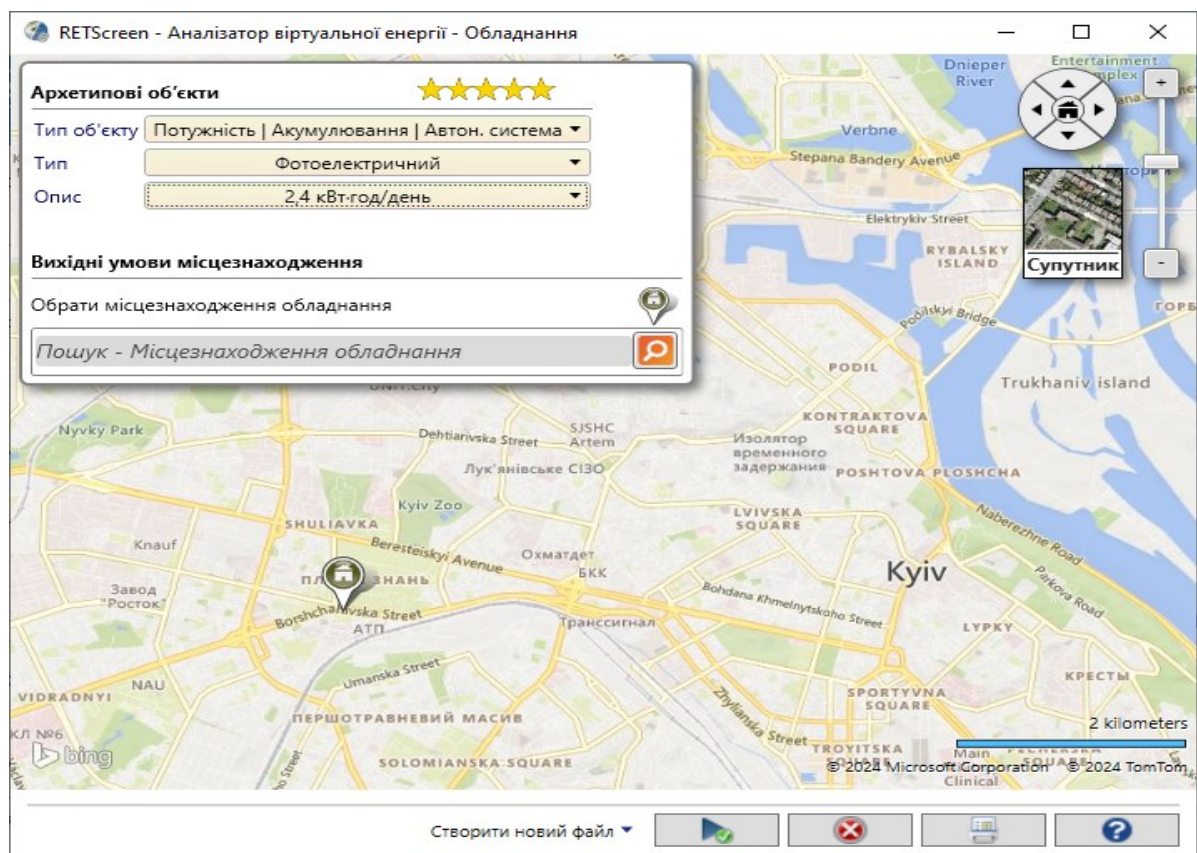


Рисунок 8.1 - Перший крок моделювання енергетичного об'єкту.

Далі, на вкладці «Обладнання» зазначаємо всі необхідні описові характеристики обраного об'єкта (рис. 8.2).

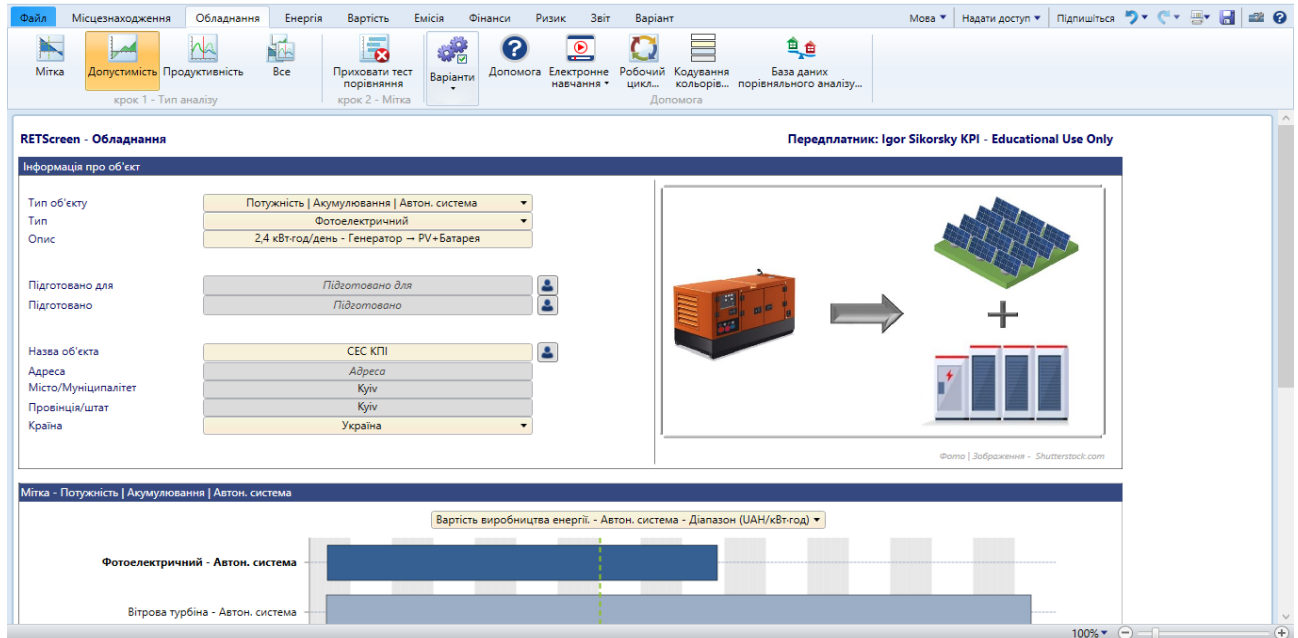


Рисунок 8.2 – Налаштування на вкладці «Обладнання»

Після чого використовуючи вкладку «Енергія» під пункт «Електрика та паливо» встановлюємо вартісні показники палива та електричної енергії (рис. 8.3).

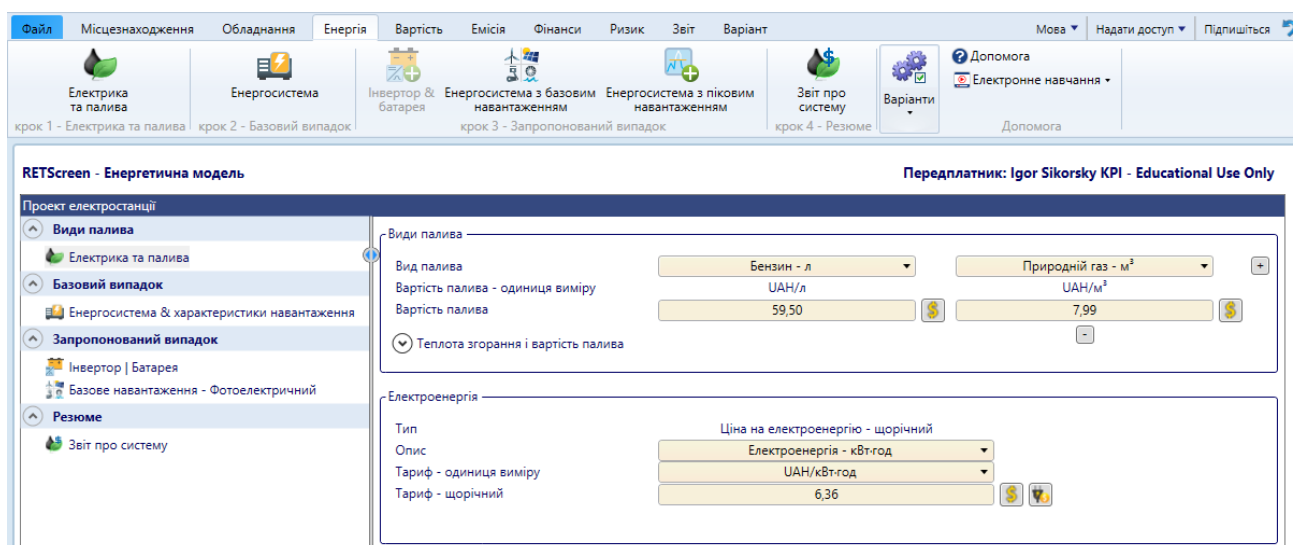


Рисунок 8.3 – Налаштування на вкладці «Енергія»

Наступним кроком на вкладці «Енергія» вводимо всі параметри у пункті «Енергосистема & характеристики навантаження» вводимо всі дані для обраного об'єкта, а саме щодо генераторної установки, задаємо вид палива та її потужність. Вносимо значення щодо загальних обсягів споживання електричної енергії за день (рис. 8.4).

Проект електростанції

- Види палива
 - Електрика та палива
 - Базовий випадок
 - Енергосистема & характеристики навантаження
 - Запропонований випадок
 - Інвертор | Батарея
 - Базове навантаження - Фотоелектричний
 - Резюме
 - Звіт про систему

Метод

- Метод 1
- Метод 2

Енергосистема & характеристики навантаження

Базовий приклад енергосистеми

Технологія	Поршневий двигун
Вид палива	Бензин - л
Вартість палива	UAH/л 59,50
Потужність	кВт 3
Питома витрата теплоти	кДж/кВт-год 20 000
Щорічні затрати на експлуатацію та обслуговування	UAH 200
Ціна на електроенергію - базовий випадок	UAH/кВт-год 35,37
Загальні витрати на електроенергію	UAH 154 899

Характеристики навантаження

Одиниця	Базовий випадок	Запропонований випадок
Споживання електроенергії - в день - пост. струм (кВт-год)		
Споживання електроенергії - в день - змін. струм (кВт-год)	12	12
Пульсуюча залежність між ресурсами і навантаженням		Нуль

☐ Відсоток місяців використання

Рисунок 8.4 – Налаштування на вкладці «Енергія» пункт «Енергосистема & характеристики навантаження»

Наступним кроком на вкладці «Енергія» вводимо всі параметри у пункті «Інвертор і батарея» вводимо всі дані для обраного обладнання, а саме щодо паспортних характеристик інвертора та батареї, що використовується в парі з (рис. 8.5).

Проект електростанції

Види палива

Електрика та палива

Базовий випадок

Енергосистема & характеристики навантаження

Запропонований випадок

Інвертор | Батарея

Базове навантаження - Фотоелектричний

Резюме

Звіт про систему

Вибір системи

Інвертор

Потужність: 3 кВт

ККД: 80%

Інші втрати: 0%

Початкові затрати: 450 UAH/kW, 1350 UAH

Батарея

Дні автономної роботи: 2,5 д

Напруга: 52,1 В

ККД: 80%

Максимальна глибина розрядки: 80%

ККД регулятора заряду: 98%

Спосіб регулювання температури: Мінімум

Мінімальна температура акумулятора: -10 °C

Середнє зниження температури акумулятора: 8,3%

Запропонована потужність: 1 073 Агод

Потужність: 48 000 Агод

Батарея: 2 501 кВт-год

Початкові затрати: 386 UAH/kWh, 964 280 UAH

Рисунок 8.5 – Налаштування на вкладці «Енергія» пункт «Інвертор і батарея»

Наступним кроком на вкладці «Енергія» вводимо всі параметри у пункті «Базове навантаження фотоелектричний» вводимо всі дані для обраного обладнання, а саме щодо даних розміщення сонячних панелей: кут нахилу, та тип встановлення(рис. 8.6).

Електрика та палива

Базовий випадок

Енергосистема & характеристики навантаження

Запропонований випадок

Інвертор | Батарея

Базове навантаження - Фотоелектричний

Резюме

Звіт про систему

Вітрова турбіна

Гідротурбіна

Поршковий двигун

Фотоелектричний

Інше

Фотоелектричний

Опис: Фотоелектричний

Примітка

Варіанти

Електронне наванчання

Оцінка ресурсів

Режим слідування за сонцем: Зафіксоване

Нахил: 30

Азимут: 0

Показат дані

Місяць	Денна сума сонячної радіації - на горизонтальній поверхні кВтгод/м²/день	Денна сума сонячної радіації - на похилу поверхню кВтгод/м²/день	Електроенергія, що постачається до навантаження кВт-год	Частка наданого навантаження %
Січень	0,79	1,30	97,504	26,2% ⚠
Лютий	1,27	1,76	118,239	35,2% ⚠
Березень	2,56	3,18	227,273	61,1% ⚠
Квітень	3,21	3,47	234,759	65,2% ⚠
Травень	4,98	5,05	338,243	90,9% ⚠
Червень	5,44	5,32	340,756	94,7% ⚠
Липень	5,70	5,68	364,153	97,9% ⚠

Рисунок 8.6 – Налаштування на вкладці «Енергія» пункт «Базове навантаження фотоелектричний»

На вкладці «Вартість» зазначаємо фінансові показники, такі, як: початковий кредит, витрати на експлуатацію та обслуговування (рис. 8.7).

Файл Місцезнаходження Обладнання Енергія **Вартість** Емісія Фінанси Ризик Звіт Варіант

Рівень 1 Рівень 2 Рівень 3 Щиток управління... Прімітки/діапазон Розподіл затрат Фактична вартість Друга валюта База даних обладнання... Показати замітки Допомога Електронне навчання

крок 1 - Рівень аналізу Варіанти Допомога

Проміжний підсумок	UAH	-
Загальні початкові затрати	UAH	978 045 100,0%

Щорічні затрати (кредити)	Одиниця	Кількість	Ціна за одиницю	Сума
Експлуатація й обслуговування				
Показат дані			UAH	179
Запасні частини і робоча сила	проект		UAH	-
Заданий користувачем	варт.		UAH	-
Непередбачувані витрати	%		UAH	179 UAH -
Проміжний підсумок			UAH	179

Щорічна економія	Одиниця	Кількість	Ціна за одиницю	Сума
Вартість палива - Базовий випадок				
Бензин	л	2 600	UAH 59,58	UAH 154 899
Проміжний підсумок			UAH	154 899
Заданий користувачем	варт.		UAH	-
Проміжний підсумок			UAH	-

Періодичні затрати (кредити)	Одиниця	Рік	Ціна за одиницю	Сума
Заміна портативного генератора	кредит	5	UAH 1 500	UAH (1 500)
Пропонована заміна акумулятора корпусу	варт.	10	UAH 6 894,3219	UAH 6 894
Пропонована заміна інвертора корпусу	варт.	13	UAH 450	UAH 450
Закінчення терміну реалізації проекту	варт.		UAH	-

Рисунок 8.7 – Налаштування на вкладці «Вартість»

Далі налаштування на вкладці «Емісія», тут налаштування такі само, як і для моделювання СЕС (рис. 3.6).

Завершальним етапом, підведемо підсумки даного моделювання об'єкт, з комбінованою систем енергозабезпечення з можливістю акумулювання енергії в RETScreen. Для цього із звіту, який видає сам RETScreen (він знаходиться на вкладці «Звіт») представимо скриншоти з результатами (рис. 8.8-8.11).

Викиди ПГ

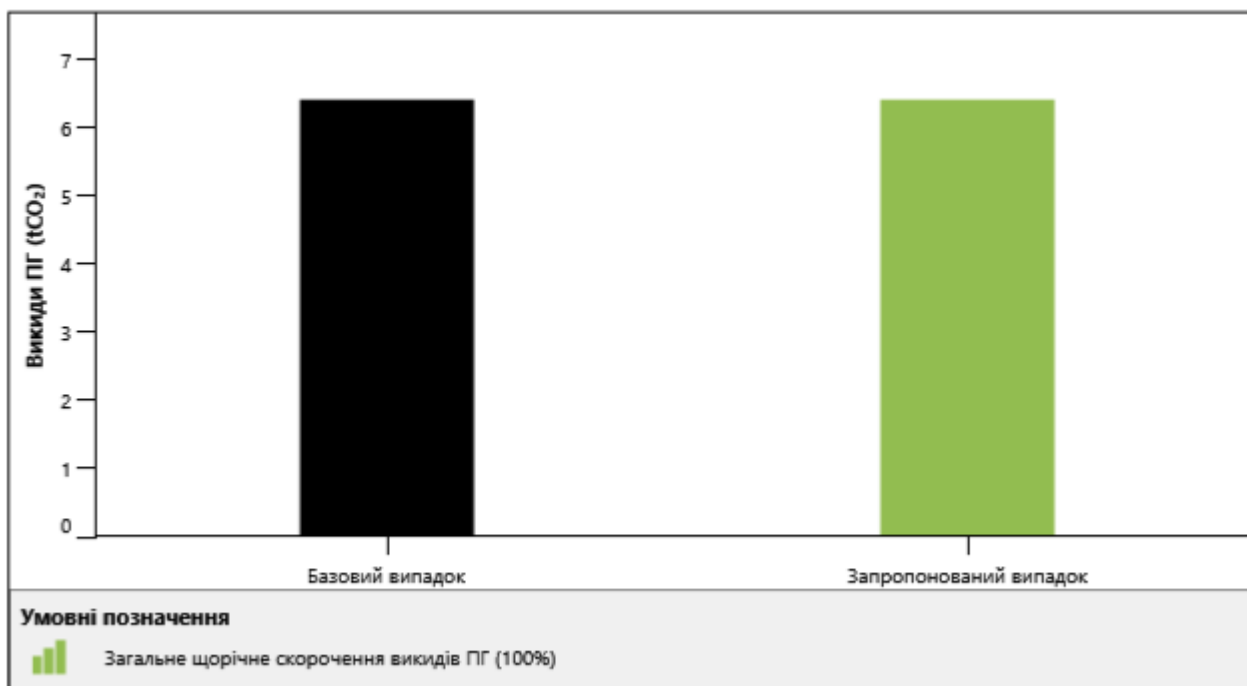


Рисунок 8.8– Інформація щодо викидів парникових газів

Кількість викидів ПГ

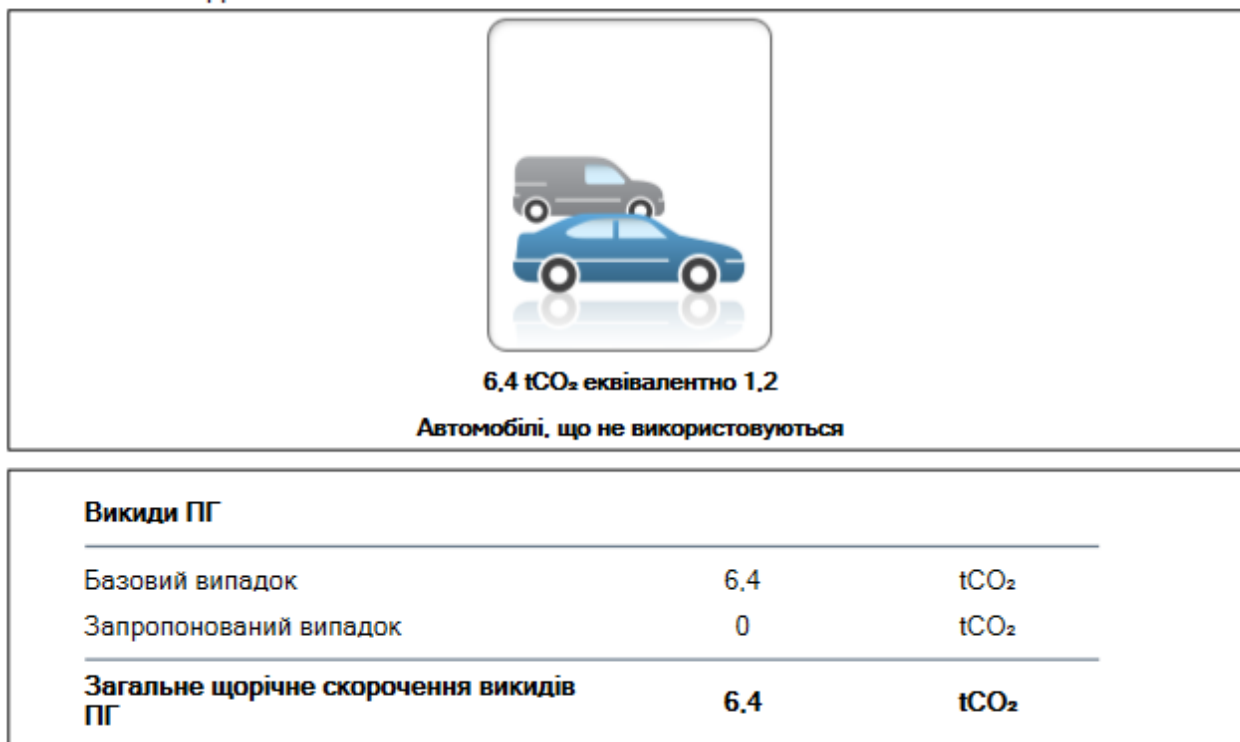


Рисунок 8.9– Інформація щодо викидів парникових газів

Фінансові показники

Загальні		
Темп інфляції	%	8,2%
Ставка дисконту	%	14,5%
Норма реінвестування	%	9%
Строк реалізації проекту	рік	25
Фінансові		
Коефіцієнт заборгованості	%	15%
Займовий капітал	UAH	146 707
Акц. капітал	UAH	831 338
Відсоткова ставка по кредиту	%	7%
Строк погашення кредиту	рік	15
Виплата заємного капіталу	UAH/рік	16 108

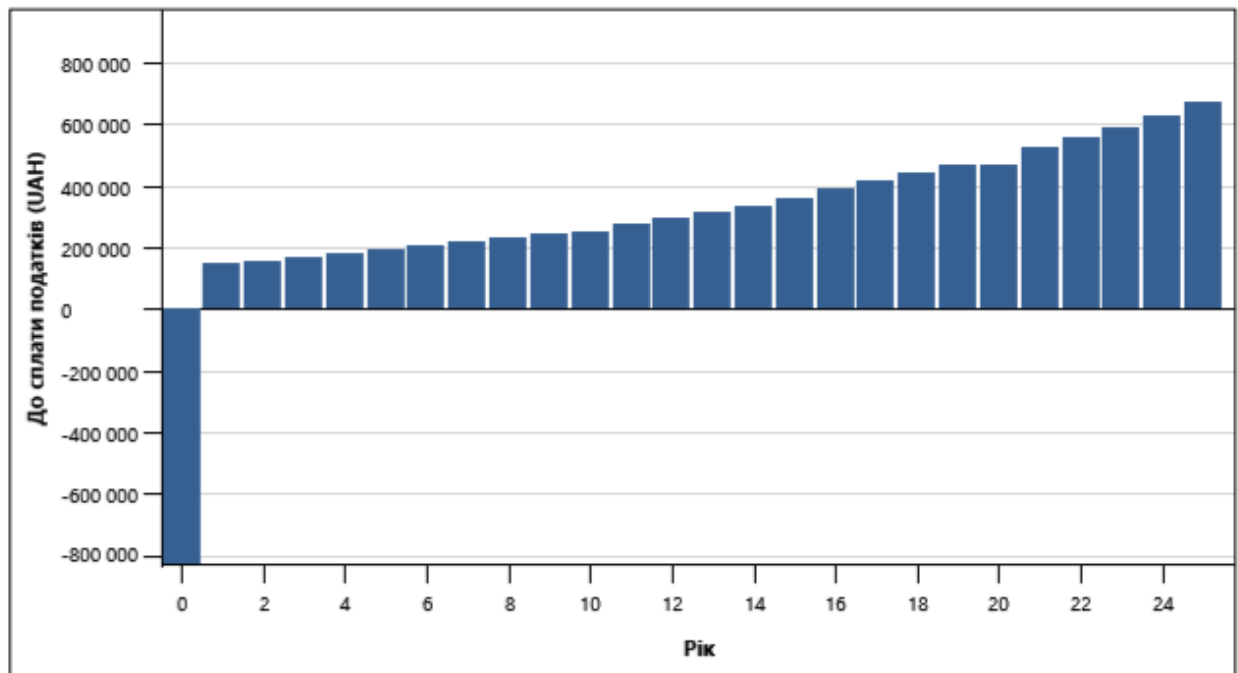
Витрати | Збереження | Дохід

Початкові затрати			
Енергосистема	100%	UAH	978 045
Загальні початкові затрати	100%	UAH	978 045
Щорічний грошовий потік - Рік 1			
Щорічні затрати і виплата займового капіталу			
Експлуатація й обслуговування		UAH	179
Виплата заємного капіталу - 15 роки		UAH	16 108
Сумарні щорічні затрати		UAH	16 287
Щорічна економія і дохід			
Вартість палива - Базовий випадок		UAH	154 899
Економія скорочення ПГ		UAH	0
Сумарна щорічна економія і дохід		UAH	154 899
Чистий річний грошовий потік - Рік 1		UAH	138 612
Періодичні затрати (кредити)			
Заміна портативного генератора - 5 роки		UAH	-1 500
Пропонована заміна акумулятора корпусу - 10 роки		UAH	6 894
Пропонована заміна інвертора корпусу - 13 роки		UAH	450

Рисунок 8.10 – Економічна доцільність даного проєкту

Грошовий потік

Щорічний



Сукупний

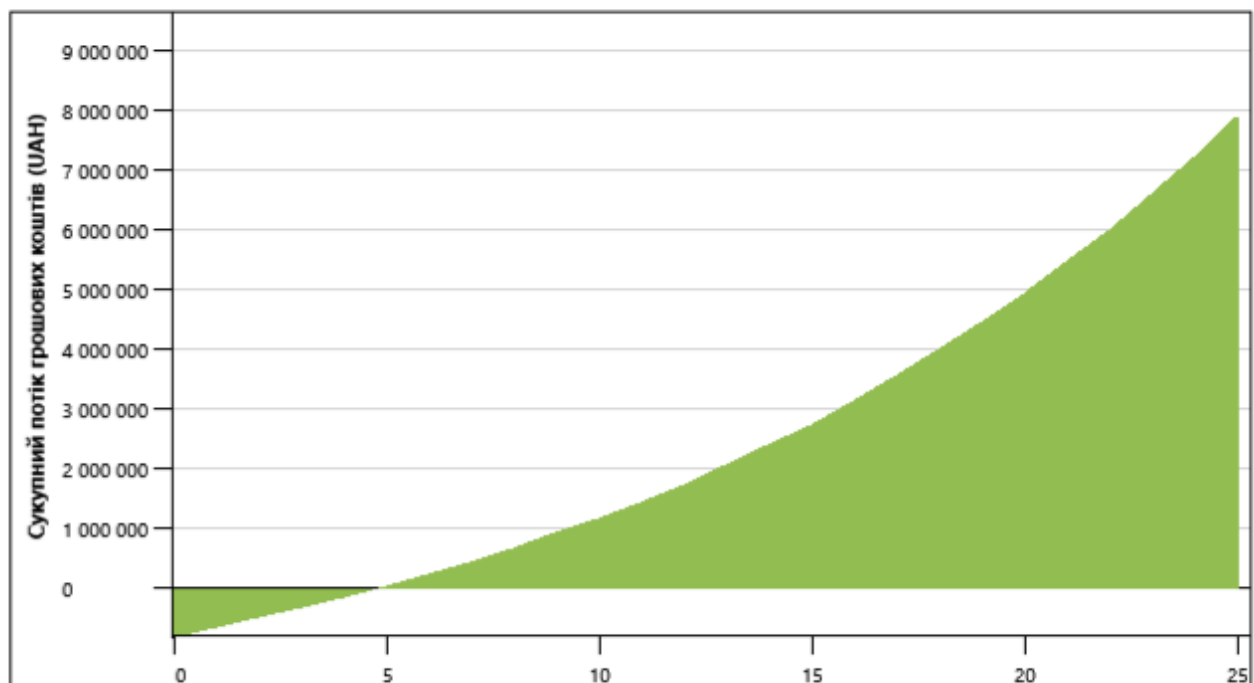


Рисунок 8.11 – Грошовий потік

8.3 Контрольні питання

1. Що таке УЗЕ (або BESS)?
2. Які три основні компоненти складають BESS-систему?
3. У чому головна відмінність УЗЕ від генератора?
4. На яких технологіях базуються сучасні системи накопичення енергії?
5. Який найбільший в Україні комплекс систем зберігання енергії, і які його параметри?
6. Скільки мегават сонячної генерації встановила Україна протягом першої половини 2025 року (за даними тексту)?
7. Які дані наводить ІЕА (Міжнародне енергетичне агентство) щодо щорічного зростання глобального ринку систем накопичення енергії?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Natural Resources Canada: RETScreen® International. URL : <http://www.etscreen.net>.
2. Кулапін О. В., Підходи до визначення та стан розвитку концепцій інтелектуальних енергосистем і віртуальних електростанцій/ О. В. Кулапін, К. В. Махотіло // Вісник Національного технічного університету «ХПІ», Серія: Енергетика надійність та енергоефективність, № 29 (1354) 2019. - С. 91-96
3. Енергоефективність як ключовий компонент енергетичної безпеки України: Євроінтеграційні підходи та реформи. URL : <https://saee.gov.ua/uk/content/energy-efficiency> .
4. Енергозбереження як напрям підвищення ефективності виробничої діяльності. URL : https://economyandsociety.in.ua/journals/9_ukr/74.pdf.
5. Підвищення енергоефективності — основа інноваційного розвитку економіки України. URL : http://www.agrosvit.info/pdf/23_2016/2.pdf .
6. Підвищення енергоефективності житлових будівель. URL : <https://journals.snu.edu.ua/index.php/VisnikSNU/article/download/40/36/36>
7. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії. – К.: НТУУ «КПІ», 2012.
8. Габрель М. С. Виробництво твердого біопалива в Україні: стан та перспективи розвитку. Науковий вісник НЛТУ України. 2011. Вип. 21.9. С. 126-131. URL : http://nltu.edu.ua/nv/Archive/2011/21_9/126_Gab.pdf .
9. Екологізація енергетики: Навч. пос. / Шевчук В.Я., Бічивський Г.О., Сатолкін Ю.М., Навроцький В.М. - К.: Вища освіта, 2002. - 111 с.
10. Кудря С.О., Репкін О.О., Яценко Л.В., Ткаленко М.Д., Шинкаренко Л.Я. Концепція Дорожньої карти розвитку водневої енергетики України на період до 2035 року / Відновлювана енергетика. – 2019. – №4 (59). – С. 22- 28.

11. Інститут відновлюваної енергетики НАН України. Історія становлення, сучасність та перспективи / За ред. С.О. Кудрі. – Київ.: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2018. – 94 с.
12. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / За ред. С.О. Кудрі. – Київ.: ТОВ "Віол Принт", – 2008. – 55 с.
13. Кудря С.О. Електроенергетичний потенціал відновлюваних джерел енергії України / Матеріали XXI-ої міжнародної конференції “Відновлювана енергетика та енергоефективність XXI століття”, м. Київ, 14-15 травня 2020 р. – С. 26-33.
14. Інформація щодо потужності та обсягів виробництва електроенергії об’єктами відновлюваної електроенергетики. URL : https://saee.gov.ua/sites/default/files/1_kv_2020_VDE
15. Альтернативна енергетика в Україні за рік зросла більш ніж вдвічі. URL : https://glavcom.ua/new_energy/news/alternativna-energetika-v-ukrajini-zarikzrosla-bilsh-nizh-vdvichi-670283.html .
16. Стратегія енергозбереження, енергоефективності та розвитку відновлюваних джерел енергії Дніпропетровської області на 2018 – 2035 роки. – Дніпро, – 2017. – 27с.
17. Желєзний А. Огляд державного механізму стимулювання енергозбереження в муніципальних та житлово-комунальних будівлях Чехії. Національний екологічний центр України, www.nesu.org.ua. Київ. – 2012. – 10 с.
18. Калетнік Г. М., Пришляк Н. В. Розвиток галузі біопалива як детермінанта сталого розвитку України. Економіка АПК. 2021. № 2. С. 71–81
19. Пришляк Н. В. Економіко-математичне моделювання виробничих потужностей цукрового заводу з виробництва біоетанолу засобами теорії нечіткої логіки. Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики. 2016. №. 3. С. 78-876, 21; WBA Global Bioenergy Statistics (2020, December 30). URL : <http://www.worldbioenergy.org/uploads/201210%20WBA%20GBS%202020.pdf>

20. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р. URL : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80> .

21. Du, E., Zhang, N., Hodge, B.-M., Wang, Q., Lu, Z., Kang, C., Xia, Q.(2018). Operation of a High Renewable Penetrated Power System with CSP plants: A Look-ahead Stochastic Unit Commitment Model. In IEEE Transactions on Power Systems, 2018. Doi:10.1109/tpwrs.2018.2866486.

22. Hui, G., Tiejun, L., Xin, S., Hong, Y., John, M.C. (2016). Energy-Efficient Resource Allocation for Massive MIMO Amplify-and-Forward Relay Systems. In 16th International Conference on the European Energy Market, 2016 (pp. 2771–2787). Doi: 10.1109/ACCESS.2016.2570805.

23. Veremiichuk, Y., Zamulko, A., Zaichenko, S., Mahnitko, A., Berzina, K., Zicmane, I. (2018). Analysis of Electric Energy Supply Security Attached to Renewable Energy Sources Implementation. In X International Conference on Electrical and Power Engineering, DOI: 10.1109/ICEPE.2018.8559840

24. Wang, Z., Luo, D., Li, R., Zhang, L., Liu, C., Tian, X., He, J. (2017). Research on the active power coordination control system for wind/photovoltaic/energy storage. In IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration, 2017. Doi:10.1109/ei2.2017.8245403.

25. Wang, X., Liu, Y. (2017). Analysis of Energy Storage Technology and Their Application for Micro Grid. In International Conference on Computer Technology, Electronics and Communication, 2017. Doi:10.1109/icctec.2017.00215.

26. Berry, I., Heinzmann, J. (2016). Economics of energy storage for dispatchable solar. In IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2016. Doi:10.1109/pesgm.2016.7741165.

27. Yakymenko, Y.I., Sokol, Y.I., Zhuikov, V.I., Peterheria, Y.S., Ivanin, O.L. (2001). Renewable energy at local sites. Ukraine: Kyiv: Polytechnics.

28. Kleinberg, M., Mirhosseini, N.S., Farzan, F., Hansell, J., Abrams, A., Katzenstein, W., Jafari, M.A. (2014). Energy Storage Valuation Under Different Storage Forms and Functions in Transmission and Distribution Applications. *Proceedings of the IEEE*, 102(7), 1073–1083. Doi:10.1109/jproc.2014.2324995.
29. Zaharov, A.M. (2014). Reduction of voltage deviations at places of connection of powerful solar power plants to power grids. *Tekhnichna elektrodynamika*, 5, 44–46.
30. Hao, C., Yanbing, J., Jin, Z., Yanfang, Z., Gang, L., Dong, X. (2019). Energy Storage Frequency Regulation Energy Management Strategy Based on K- Means Analysis. In *IEEE 3rd International Conference on Green Energy and Applications*, 2019. Doi:10.1109/icgea.2019.8880782.
31. Jing, Li.J., Wei, W., Xiang, J.A. (2012). Simple Sizing Algorithm for Stand-Alone PV/Wind/Battery Hybrid Microgrids. *Energies*, 5, 5307–5323.
32. Ponnambalam, K., Saad, Y.E., Mahootchi, M., Heemink, A.W.(2010). Comparison of methods for battery capacity design in renewable energy systems for constant demand and uncertain supply. In *7th International Conference on the European Energy Market*, 2010. Doi:10.1109/eem.2010.5558745.
33. Veremiichuk, Y., Prytyskach, I., Yarmoliuk, O., Opryshko, V.(2019). Energy sources selection for industrial enterprise combined power supply system. In *IEEE 6th International conference on Energy Smart Systems*, 17–19 April 2019 (pp. 283–288). Ukraine, Kyiv.
34. Veremiichuk, Y. Berzina, K., Zicmane, I., Mahnitko, A., Patel, D.K.(2019). Optimal power flow in power system in Latvian market conditions. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management*, 19 (4.1), 369–375.
35. Root, C., Presume, H., Proudfoot, D., Willis, L., Masiello, R. (2017). Using battery energy storage to reduce renewable resource curtailment. In *IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference*, 2017. Doi:10.1109/isgt.2017.8085955.

36. Сонячні станції для бізнесу та інвестицій "під ключ" . URL : <https://unisolar.energy/blog/uze-ustanovka-zberigannya-energiyi-yak-biznesu-zabezpechyty-stabilne-elektropostachannya/#h2-id-2>

37. Minister of Natural Resources Canada: RETScreen. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/tools/data-analysis-software-modelling/retscreen/7465>. 07.11.2020.

38. Енергоефективність та відновлювані джерела енергії / Під заг. ред. А.К. Шидловського. – К.: Українські енциклопедичні знання, 2007. – 560 с.

39. Офіційний веб-сайт Державної служби статистики України. URL : <http://www.ukrstat.gov.ua/> .

40. Офіційний веб-сайт Державної служби України з питань геодезії, картографії та кадастру. URL : <http://land.gov.ua/> .

41. Офіційний веб-сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України. URL : http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/printable_article?art_id=245450057

42. Веремійчук Ю.А., Опришко В.П., Притискач І.В., Ярмолюк О.С. Оптимізація функціонування інтегрованих систем енергозабезпечення споживачів. Київ, Видавничий дім «Кий», 2020. 186 с. ISBN 987-617-7177-12-7

43. Prytyskach I., Opryshko V., Veremiichuk Y., Yarmoliuk O. Battery Energy Storage Systems: Enabling Ukraine's Grid Flexibility and Energy Security through Ancillary Services. Systems, Decision and Control in Energy VI. Volume II: Power Engineering and Environmental Safety. Switzerland: Springer Cham, 2024. Vol. 552. Pp. 3–36. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-67091-6>