

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”

Зав. кафедри ЕТС та ЕМ

к.т.н., професор

_____ Петро ПЛІШКОВ

« ____ » _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої
освіти

на тему:

**«Підвищення надійності системи електропостачання
шляхом використання розподілених
відновлювальних джерел енергії»**

Виконав здобувач вищої освіти

II курсу групи ЕЕ-22М

ОПП «Електротехнічні системи

електроспоживання» спеціальності 141

«Електроенергетика, електротехніка та

електромеханіка»

_____ Артем ТУЛБА

« ____ » _____ 2023 р.

Керівник роботи

к.т.н., проф. _____

Сергій СЕРЕБРЕННІКОВ

« ____ » _____ 2023 р.

Рецензент _____

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет *будівництва, транспорту та енергетики*

Кафедра *електротехнічних систем та енергетичного менеджменту*

Рівень вищої освіти *другий (магістерський)*

Галузь знань *14 «Електрична інженерія»*

Спеціальність *141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*

Освітньо-професійна програма *«Електротехнічні системи електроспоживання»*

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Петро ПЛЄШКОВ

« 09 » 10 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Тулбі Артему Івановичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи *Підвищення надійності системи електропостачання шляхом використання розподілених відновлювальних джерел енергії*

Improving the reliability of the power supply system through the use of distributed renewable energy sources

2. Керівник роботи *Серебренніков Сергій Валентинович, к.т.н., професор*

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту *30.12.2023 р.*

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи *Метою роботи є підвищення рівня ефективності функціонування систем енергопостачання за рахунок поліпшення надійності електропостачання та інтеграції відновлюваних джерел енергії й гібридних енергосистем*
Для досягнення поставленої мети у роботі розглянуто наступні завдання:

1) оцінка комплексного енергетичного потенціалу сонячного випромінювання і вітру

2) розроблення математичної моделі комбінованих енергосистем з відновлюваними джерелами енергії

3) оцінювання паливно-енергетичного біопотенціалу рослинництва

4) визначено низькопотенційну теплову енергію ґрунту

5) заходи з дослідження методів керування режимами електроспоживання

6) оптимізація кількості, потужності та режиму роботи котлів на біопаливі

7) охорона праці

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>к.т.н., доц. кафедри “ЕТС та ЕМ” Савеленко І.В.</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ. Оцінка комплексного енергетичного потенціалу сонячного випромінювання і вітру</i>	<i>10.10.2023 р.</i>	
2	<i>Розроблення моделі комбінованих енергосистем з відновлюваними джерелами енергії</i>	<i>13.10.2023 р.</i>	
3	<i>Оцінювання паливно-енергетичного біопотенціалу рослинництва</i>	<i>25.10.2023 р.</i>	
4	<i>Визначено низькопотенційну теплову енергію ґрунту</i>	<i>30.10.2023 р.</i>	
5	<i>Дослідження методів керування режимами електроспоживання</i>	<i>15.11.2023 р.</i>	
6	<i>Оптимізація кількості, потужності та режиму роботи котлів на біопаливі</i>	<i>20.11.2023р.</i>	
7	<i>Охорона праці</i>	<i>30.11.2023 р.</i>	
8	<i>Висновки. Оформлення списку використаних джерел</i>	<i>07.12.2023 р.</i>	
9	<i>Оформлення презентаційної частини КР</i>	<i>11.12.2023 р.</i>	
10	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	<i>15.12.2023 р.</i>	

Дата видачі завдання

« 6 » 09 2023 р.

Підпис керівника _____

Сергій СЕРЕБРЕННИКОВ

Завдання прийнято до виконання

« 6 » 09 2023 р.

Підпис здобувача _____

Артем ТУЛБА

АННОТАЦІЯ

Тулба А.І. Підвищення надійності системи електропостачання шляхом використання розподілених відновлювальних джерел енергії

Кваліфікаційна робота за другим (магістерським) рівнем вищої освіти за спеціальністю 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" освітньої програми «Електротехнічні системи електроспоживання». — Центральноукраїнський національний технічний університет: Кіровоградський, 2023 р.

Метою кваліфікаційної роботи є вивчення способів поліпшення надійності електропостачання шляхом інтеграції відновлюваних джерел енергії та гібридних енергосистем.

На підставі аналізу метеоданих було побудовано карти енергетичного потенціалу вітру і сонця, визначено періоди їх ефективної роботи та «енергетичного штилю». Окрім цього, оцінено біоенергетичний потенціал регіону та створено відповідну карту розподілу ресурсів. Розроблено комп'ютерну модель для визначення оптимальних режимів функціонування гібридних енергосистем.

Також проведено ранжування методів керування електроспоживанням за рівнями енергосистеми. На основі цього створено методику комплексного управління режимами споживання електроенергії з метою оптимізації енергетичних балансів.

Отримані результати можуть бути застосовані на практиці для підвищення надійності енергопостачання завдяки впровадженню альтернативних джерел енергії місцевого походження.

ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, КОМБІНОВАНІ ЕНЕРГОСИСТЕМИ, РЕЖИМИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

ABSTRACT

Tulba A.I. Increasing the reliability of the power supply system through the use of distributed renewable energy sources

Qualification work at the second (master's) level of higher education in the specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics" of the educational program "Electrotechnical systems of power consumption". – Central Ukrainian National Technical University: Kropyvnytskyi, 2023

The purpose of the qualification work is to study ways to improve the reliability of electricity supply by integrating renewable energy sources and hybrid energy systems.

On the basis of the analysis of meteorological data, maps of the energy potential of the wind and the sun were built, and the periods of their effective operation and "energy calm" were determined. In addition, the bioenergy potential of the region was assessed and a corresponding resource distribution map was created. A computer model was developed to determine the optimal modes of operation of hybrid energy systems.

A ranking of power consumption management methods by power system levels was also carried out. Based on this, a methodology for comprehensive management of electricity consumption regimes was created with the aim of optimizing energy balances.

The obtained results can be applied in practice to increase the reliability of energy supply thanks to the introduction of alternative energy sources of local origin.

RENEWABLE ENERGY SOURCES, COMBINED ENERGY SYSTEMS,
ELECTRICITY CONSUMPTION MODES

ЗМІСТ

	ст.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	8
ВСТУП	
ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.	
1. ОЦІНКА КОМПЛЕКСНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ І ВІТРУ.....	ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.2
1.1 Потенціал сонячного випромінювання.....	12
1.2 Потенціал вітру.....	15
2. РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КОМБІНОВАНИХ ЕНЕРГОСИСТЕМ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ.....	Ошибка! Закладка не определена.2
2.1 Математична модель вибору оптимальних комбінованих енергосистем	22
2.2 Моделі комбінованої енергосистеми й її елементів	22
3. ОЦІНЮВАННЯ ПАЛИВНО- ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ РОСЛИННИЦТВА.....	25
3.1 Дослідження рослинницької галузі сільського господарства, як джерела біоенергетичних ресурсів	25
3.2 Алгоритм розрахунку енергетичного біопотенціалу	26
4. НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНА ТЕПЛОВА ЕНЕРГІЯ ҐРУНТУ	34
5. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ	39
.1 Проблема нерівномірності режимів споживання електроенергії.....	39
5.2 Методи управління енергоспоживанням.....	41
6. ОПТИМІЗАЦІЯ КІЛЬКОСТІ, ПОТУЖНОСТІ ТА РЕЖИМУ РОБОТИ КОТЛІВ НА БІОПАЛИВІ	45
6.1. Характеристики твердопаливних котлів... ..	45
6.2. Визначення теплових навантажень та потужності котельні	50

6.3. Технічні властивості біопалив.....	52
6.4 Енергетичний потенціал біопалив.....	58
6.5. Дослідження параметрів, що впливають на ефективність котла.....	60
ВИСНОВКИ.....	67
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	69
ДОДАТКИ	
ДОДАТОК Б ОХОРОНА ПРАЦІ	75

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АДЕ	Альтернативні джерела енергії
АПК	Аграрно-промисловий комплекс
ВЕР	Відновлювальні енергетичні ресурси
ККД	Коефіцієнт корисної дії
НВДЕ	Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії
ПЕК	Паливно-енергетичний комплекс
ПЕР	Паливно-енергетичні ресурси
ТЕС	Теплова електростанція
АЕС	Атомна електрична станція
ГВП	Гаряче водопостачання

ВСТУП

У контексті енергетичної залежності Кіровоградської області та постійного зростання цін на паливно-енергетичні ресурси, дедалі більшої актуальності набуває оптимізація регіональних і районних паливно-енергетичних балансів за рахунок впровадження альтернативних джерел енергії місцевого походження.

Нерівномірність режимів електроспоживання спричиняє низку негативних наслідків: збільшення технологічних витрат електроенергії в мережах, погіршення якості електропостачання, необхідність будівництва додаткових маневрових потужностей, підвищення аварійних ризиків, ускладнення режимів роботи енергокомпаній, посилення екологічного навантаження, прискорене зношування устаткування тощо. Це зумовлює потребу в оптимізації паливно-енергетичних балансів шляхом регулювання графіків електроспоживання із залученням альтернативних джерел енергії у пікові періоди навантаження енергосистеми.

Оптимізація енергопостачання промислових та комунальних об'єктів у сільській місцевості на основі відновлюваних джерел енергії дозволить отримати такі позитивні результати:

Для суспільства: скорочення ступеня енергозалежності регіону; економія паливно-енергетичних ресурсів; поліпшення екологічної ситуації; зменшення соціальної та політичної напруженості; зниження ризиків аварійності в енергосистемі.

Для споживачів: підвищення надійності та комфортності енергозабезпечення; покращення показників роботи устаткування; здешевлення тарифів; скорочення видатків на оплату енергоресурсів.

Об'єктом дослідження є процеси генерації, перетворення та використання електричної і теплової енергії в системах життєзабезпечення.

Предмет дослідження становлять взаємозв'язки між параметрами енергосистем, вплив на які дозволить підвищити ефективність використання місцевих джерел енергії.

Метою роботи є вивчення можливостей оптимізації енергетичних балансів і графіків енергоспоживання, підвищення ефективності застосування відновлюваних джерел енергії, розробка методики комплексного керування режимами електроспоживання для зменшення енергетичної залежності Кіровоградської області.

Для досягнення поставленої мети передбачається вирішення наступних завдань:

- комплексна оцінка енергетичного потенціалу регіону та побудова карт розподілу ресурсів;
- створення математичної моделі вибору оптимальних гібридних систем для АПК з відновлюваними джерелами;
- розробка методики комплексного керування режимами енергоспоживання задля оптимізації обласних енергобалансів;
- обґрунтування оптимальних параметрів та режимів роботи котелень з урахуванням нестабільності теплових навантажень та характеристик палива.

1. КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ І ВІТРУ

1.1 Потенціал сонячного випромінювання

Використання сонячної енергії для побутових та виробничих потреб в Україні набуває все більшої популярності. Проте ефективне застосування сонячних технологій вимагає розуміння особливостей сонячного випромінювання, можливостей технологій перетворення та технічних характеристик обладнання.

Незважаючи на величезний потенціал сонячної енергії в регіоні, лише незначна її частина може бути практично використана через низьку щільність потоку випромінювання. Тому для створення потужних установок необхідні значні площі. Наприклад, розміщення на дахах будівель дозволяє отримати лише обмежену потужність. Водночас відведення великих ділянок під наземні сонячні станції призводить до вилучення земель з господарського використання.

За оцінками, потужність окремих сонячних систем може становити від десятків ват до десятків кіловат. Існують технології прямого перетворення сонячного випромінювання на електрику (фотоелектричні панелі) та тепло (сонячні колектори). ККД сучасних фотоелектричних панелей сягає 15%, сонячних колекторів - 30-70% залежно від типу.

Отже, застосування сонячних технологій має певні обмеження за потужністю, що необхідно враховувати при проектуванні та експлуатації обладнання. Разом з тим, використання енергії сонця є перспективним напрямом для децентралізованого енергопостачання об'єктів невеликої потужності в регіоні.

Використання сонячної енергії для виробництва тепла (гаряче водопостачання, опалення, технологічні процеси) є більш ефективним порівняно з генерацією електроенергії. Сонячні колектори мають вищий ККД і нижчу вартість за однакової потужності з фотоелектричними панелями.

Перевагою фотопанелей є можливість цілорічної експлуатації, в той час як сонячні колектори ефективні лише у теплий період року. Отже, рекомендується починати впровадження сонячних технологій з установки сонячних колекторів для теплопостачання житлових будинків, об'єктів соціальної сфери тощо.

Фотоелектричні панелі доцільно застосовувати для автономного живлення приладів автоматики та контролю. Генерація електроенергії для потужних споживачів пов'язана зі значними капітальними та експлуатаційними витратами.

Для попередньої оцінки ефективності сонячних систем у конкретному регіоні необхідно проаналізувати показники сонячної інсоляції та надати перевагу ділянкам з максимальним річним надходженням сонячної радіації на горизонтальну поверхню.

Існує кілька способів оцінки сонячного потенціалу регіону, кожен зі своїми перевагами та недоліками:

Використання довідникових даних. Переваги: легкодоступні, тривалий період спостережень. Недоліки: обмежена кількість пунктів, відсутність сучасної статистики.

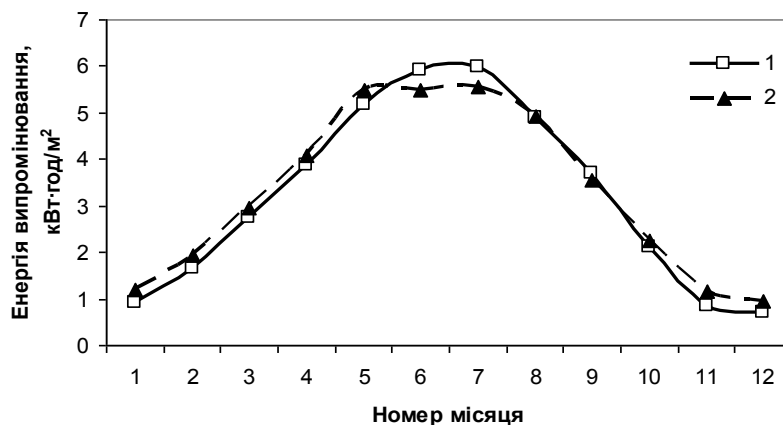
Використання даних метеостанцій. Переваги: наявність актуальної статистики. Недоліки: дані розпорошені по різних джерелах, обмежена кількість пунктів, не завжди відповідають сучасним стандартам.

Застосування математичних моделей NASA. Переваги: відкритий доступ, охоплення всієї території, широкий набір параметрів, сучасні дані. Недоліки: не завжди адекватно описують конкретну місцевість.

Аналіз даних сонячної радіації для м. Знам'янка за різними джерелами показав, що відхилення даних моделі NASA від довідникових даних може сягати 30%.

Враховуючи, що найефективніший період роботи сонячних установок припадає на весну, літо та осінь, дані моделі NASA, незважаючи на певні розбіжності, можна вважати прийнятними для інженерних розрахунків.

З огляду на відкритий доступ, охоплення всієї території та наявність сучасних даних, результати моделювання NASA рекомендується використовувати для практичної оцінки сонячного потенціалу Кіровоградської області.



1 – за даними [2], 2 – за даними [1].

Рисунок 1.1.1 — Середньодобове надходження енергії на горизонт метеостанції Знам'янка.

З метою попередньої оцінки сонячного потенціалу районів Кіровоградської області були використані дані NASA про середньодобову сумарну радіацію. Для побудови відповідної карти зібрано інформацію про рівні інсоляції міст з метеостанціями в Кіровоградській та сусідніх областях (табл. 1.1.1 дод.А).

Згідно даних NASA, річний рівень сонячного опромінення території області становить 1367-1424 кВт·год/м² та знаходиться на рівні або перевищує показники Європейських країн з інтенсивним розвитком сонячної енергетики.

Добові графіки інтенсивності сонячної радіації демонструють суттєву нерівномірність генерації енергії протягом доби рис. 4, що необхідно враховувати при проектуванні і експлуатації сонячних електростанцій.

Отже, за показниками сонячної інсоляції Кіровоградська область має значний потенціал для розвитку сонячної енергетики.

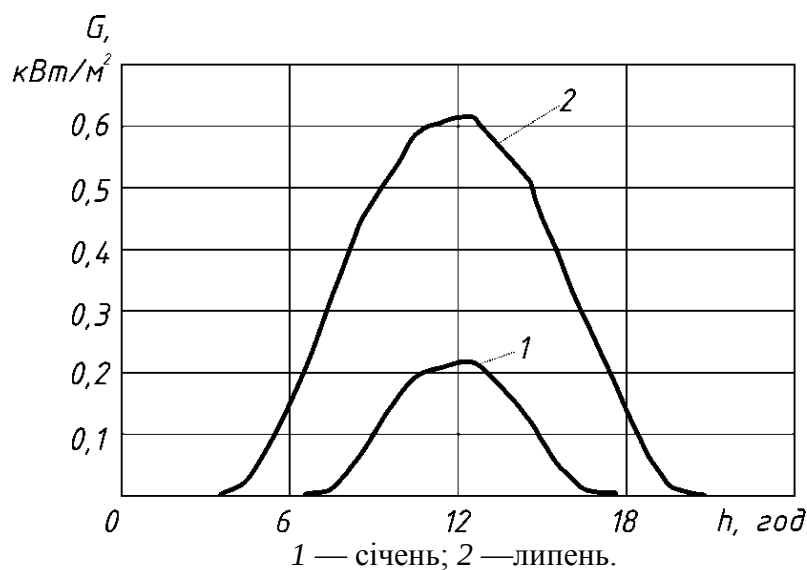


Рисунок 1.1.4 — Зміна інтенсивності сумарної радіації протягом доби в місті Кропивницькому за даними [1]

1.2 Потенціал вітру

Визначальною характеристикою вітрового потенціалу є швидкість вітру. Внаслідок впливу метеофакторів та особливостей рельєфу місцевості, параметри вітрового потоку (швидкість, напрямок) є випадковими величинами, що ускладнює прогнозування поточної потужності вітроагрегатів.

Разом з тим, валовий виробіток вітроенергетичних установок за тривалий період (місяць, сезон, рік) може бути розрахований з достатньою точністю, оскільки усереднені характеристики вітру (середня швидкість, розподіл за швидкостями) є статистично стійкими величинами.

Питома потужність вітрового потоку, що проходить крізь площу 1 м² перпендикулярно напрямку вітру, обчислюється за формулою Вт/м² [4]:

$$P_u = \frac{\rho u^3}{2}, \quad (1.1.1)$$

де ρ — густина повітря, кг/м³;

u — швидкість вітру, м/с.

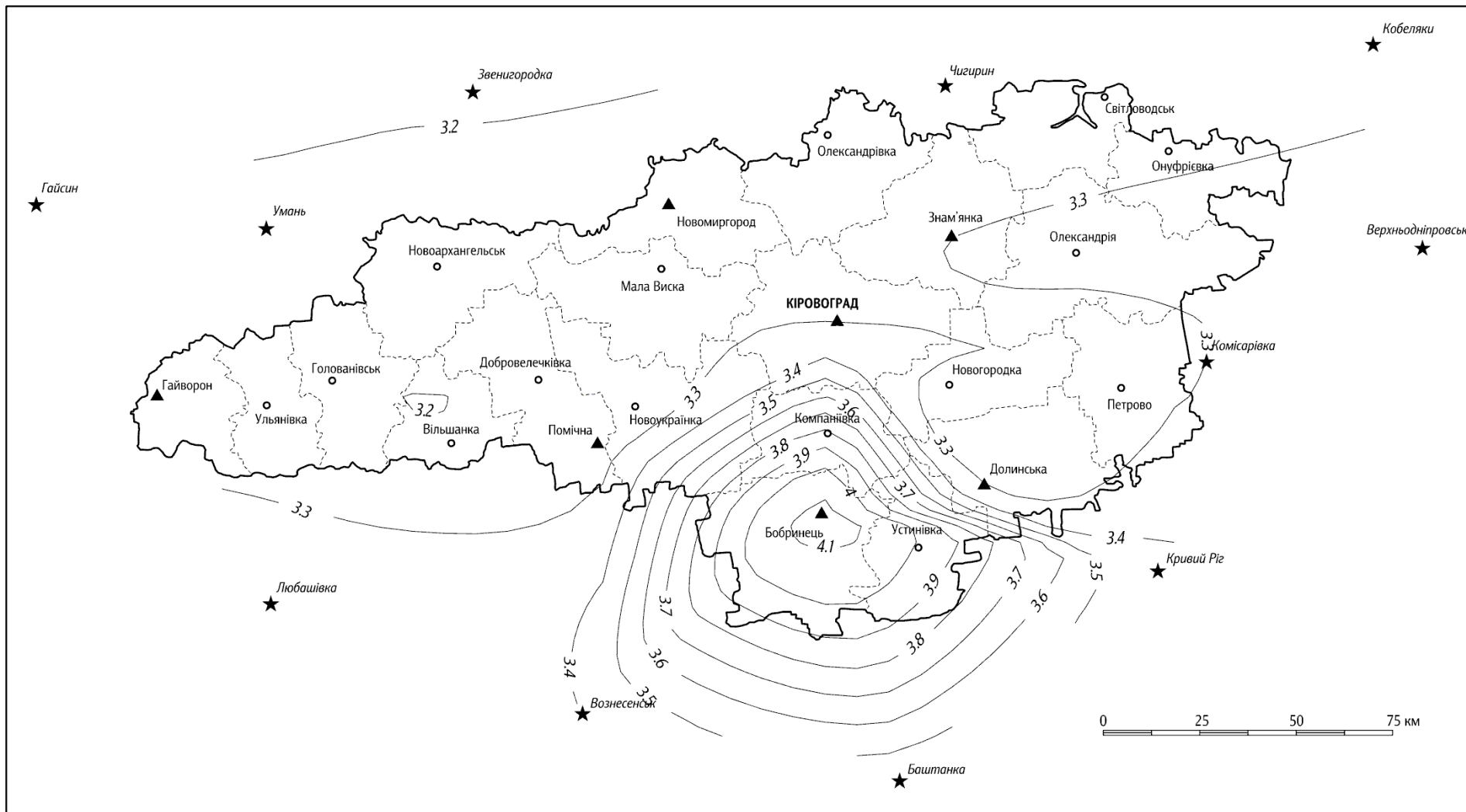


Рисунок 1.1.3 — Радіація на горизонтальну поверхню ($\text{kVt} \cdot \text{год} / \text{m}^2$)

Отже, середні показники режимів вітру дають змогу з достатньою надійністю оцінити виробничий потенціал вітроенергетичних об'єктів у конкретному регіоні.

Основними факторами, що впливають на оцінку вітроенергетичного потенціалу, є:

Точність вимірювання швидкості вітру. Цей фактор є визначальним, оскільки потужність вітрового потоку залежить від швидкості за кубічним законом. Тому навіть невеликі похибки у вимірах швидкості призводять до значних похибок оцінки енергії.

Густина повітря, яка змінюється залежно від висоти, температури та вологості. Це вплив менш суттєвий і в роботі прийнято усереднене значення густини для стандартних умов.

Характер підстилаючої поверхні, що впливає на вертикальний профіль швидкості. Цей фактор необхідно враховувати при екстраполяції даних на інші висоти, ніж проводились виміри. Для цього часто застосовується степеневий закон зміни швидкості вітру з висотою [6]:

$$u_b = u_a \left(\frac{h_b}{h_a} \right)^\alpha, \quad (1.1.2)$$

де u_b , u_a — відповідно швидкості вітру на висотах h_b та h_a ;

α — показник ступеня, що залежить від швидкості вітру та шорсткості поверхні ($\alpha = 1/7$).

Показник ступеня при перерахунку енергії дорівнювати 3α .

Важливо розуміти, що вітроустановка здатна перетворити на корисну енергію лише частину кінетичної енергії вітрового потоку. Теоретично цей відсоток не перевищує 59%, на практиці сучасні вітроагрегати в номінальному режимі перетворюють до 45-48%.

Такі усереднені характеристики як середньорічна та середньосезонна швидкість вітру є загальноприйнятими показниками вітроенергетичного

потенціалу. Проте вони не повною мірою визначають можливий виробіток вітроелектростанцій.

Для більш коректної оцінки вітропотенціалу необхідно знати розподіл швидкості вітру за градаціями, а не лише усереднені значення. У роботі на підставі емпіричних даних розподілу швидкості для метеостанцій області було побудовано теоретичні криві імовірності у вигляді двохпараметричного розподілу Вейбула. Це дозволяє точніше оцінити вітропотенціал:

$$\Phi_u = \frac{k}{c} \left(\frac{u}{c} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{u}{c} \right)^k \right], \quad (1.1.3)$$

де c — масштаб, м/с; k — параметр форми.

Параметри розподілу наведені в табл 1.1.3.

Отримані параметри дають здатність визначити:

1) функцію імовірності швидкості вітру, більшої за u' :

$$\Phi_{u>u'} = 1 - \int_0^{u'} \Phi_u du = \exp \left[- \left(\frac{u'}{c} \right)^k \right]; \quad (1.1.4)$$

2) середню швидкість

$$\bar{u} = \int_0^{\infty} u \Phi_u du = c \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right); \quad (1.1.5)$$

де Γ — гамма-функція;

3) кубічну швидкість вітру (табл. 1.1.4)

$$\langle u \rangle = \sqrt[3]{\int_0^{\infty} u^3 \Phi_u du} = \sqrt[3]{c^3 \Gamma \left(1 + \frac{3}{k} \right)}; \quad (1.1.6)$$

4) питому потужність потоку вітрового, Вт/м²:

$$P_u = \frac{\rho}{2} \int_0^{\infty} u^3 \Phi_u du = \frac{\rho \langle u \rangle^3}{2}; \quad (1.1.7)$$

5) розподіл енергії вітру:

$$W_u = P_u \Phi_u; \quad (1.1.8)$$

6) середньодобову енергію вітрового потоку (табл. 1.1.4):

$$E_u = 365 \int_0^{\infty} W_u du = 24 P_u / 1000; \quad (1.1.9)$$

7) тривалість «енергетичного» штилю* ($u < u_0$) (табл. 1.1.5):

$$T_{\text{еш}} = 8760 \int_0^{u_0} \Phi_u du \text{ (в годинах);} \quad (1.1.10 \text{ а})$$

$$T_{\text{еш}} = 365 \int_0^{u_0} \Phi_u du \text{ (в днях);} \quad (1.1.10 \text{ б})$$

8) тривалість енергоефективної швидкості ($u \geq u_0$) (табл. 1.1.5):

$$T_{\text{еф}} = 8760 - T_{\text{еш}}, \quad (1.1.11 \text{ а})$$

$$T_{\text{еф}} = 365 - T_{\text{еш}} \text{ (у днях).} \quad (1.1.11 \text{ б})$$

Аналіз даних середньомісячних швидкостей вітру на метеостанціях Кіровоградської області демонструє виражену сезонну нерівномірність: спостерігаються зимовий максимум та літній мінімум швидкостей і відповідно енергії вітру. Така закономірність притаманна більшості регіонів України (за винятком ділянок зі специфічними орографічними умовами, що суттєво впливають на вітер).

На основі середньомісячних даних та показників продуктивності вітроенергетичних установок побудовано карти вітропотенціалу Кіровоградської області та тривалості періодів "енергетичного штилю", для яких характерні неефективні швидкості вітру (нижче 3 м/с).

За табл. 1.1.4 дод.А і табл. 1.1.5 дод.А побудовані мапи вітроенергетичного потенціалу (рис. 1.1.5) та тривалості «енергетичного штилю» (рис. 1.1.6).

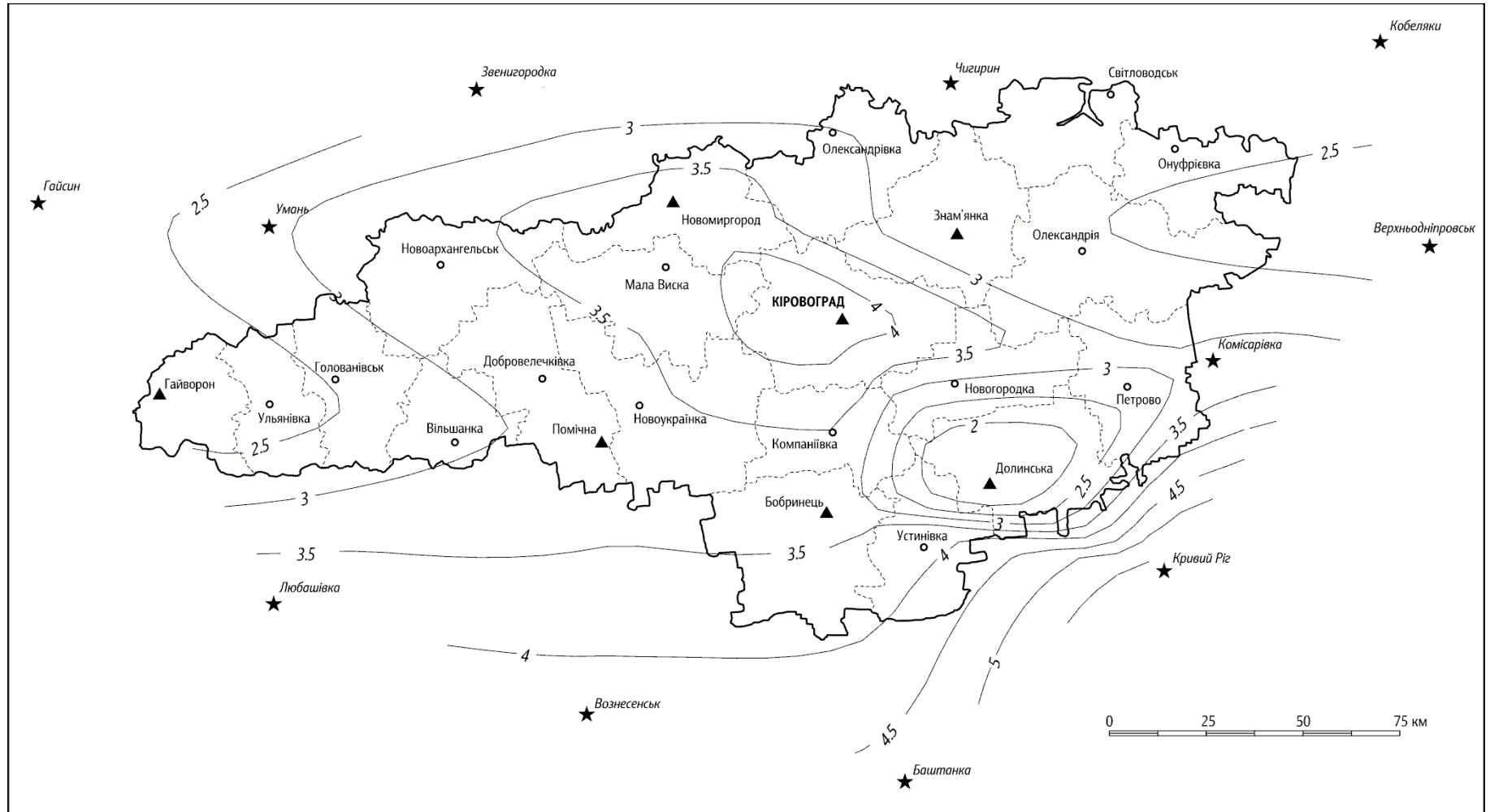


Рисунок 1.1.5 — Середньодобова енергія вітру ($\text{kW}\cdot\text{год}/\text{м}^2$)

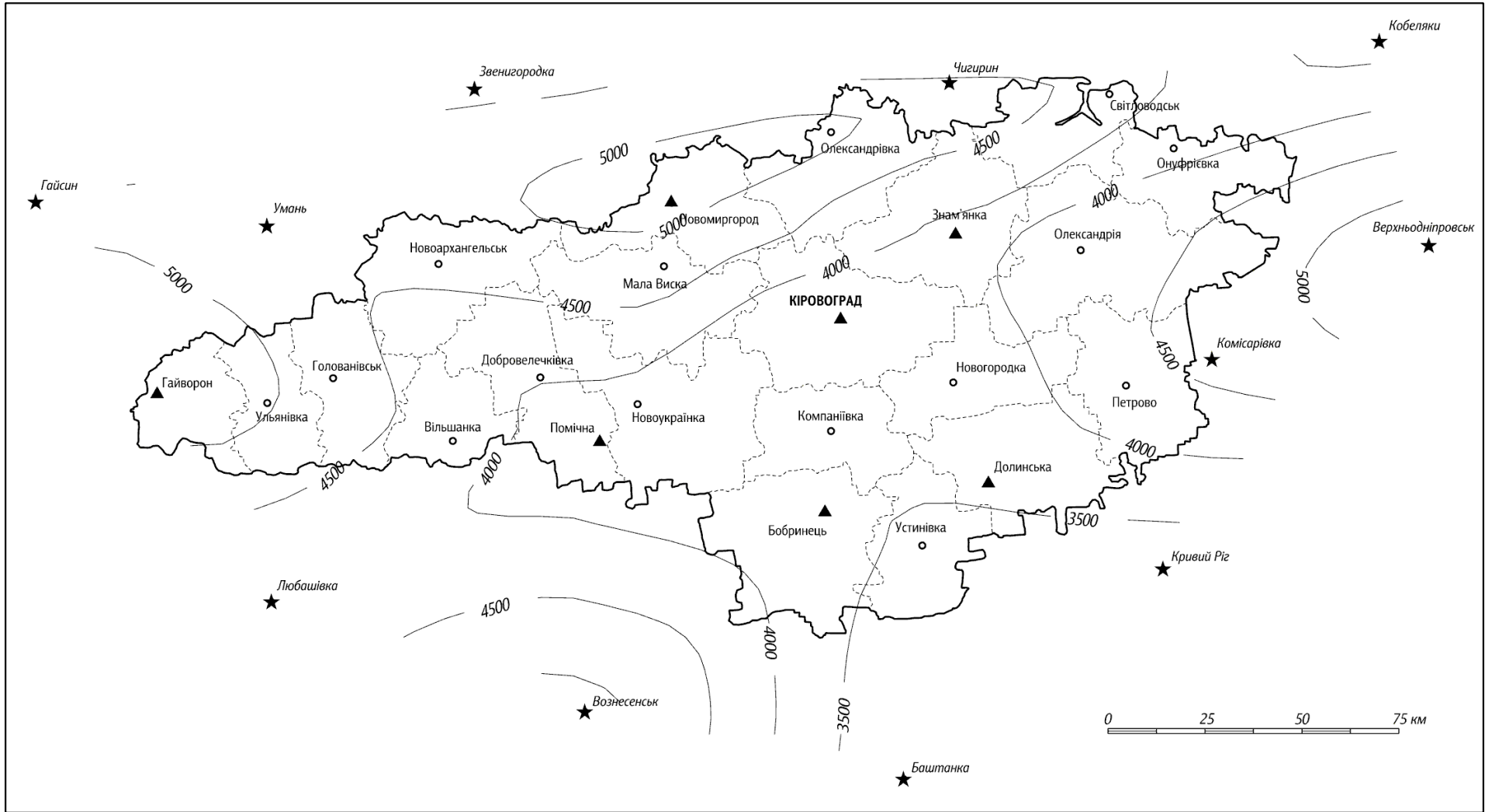


Рисунок 1.1.6 — Час «енергетичного» штилю

2. РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КОМБІНОВАНИХ ЕНЕРГОСИСТЕМ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

2.1 Математична модель вибору оптимальних комбінованих енергосистем

Оптимальна комбінована система електропостачання відзначається на основі мінімуму цільової функції:

$$Z_{\Sigma}^{\text{КЕС}} = f(S^{\text{ФЕБ}}, n^{\text{АБ}}, R, T) \rightarrow \min, \quad (1.2.1)$$

де $Z_{\Sigma}^{\text{КЕС}}$ — сумарні затрати на енергосистему.

На параметри оптимізації накладають обмеження:

$$S_{\min}^{\text{ФЕБ}} \leq S^{\text{ФЕБ}} \leq S_{\max}^{\text{ФЕБ}}, \quad (1.2.2)$$

$$n_{\min}^{\text{АБ}} \leq n^{\text{АБ}} \leq n_{\max}^{\text{АБ}}, \quad (1.2.3)$$

де $S_{\min}^{\text{ФЕБ}}, S_{\max}^{\text{ФЕБ}}$ — значення площі ФЕБ, м²;

$n_{\min}^{\text{АБ}}, n_{\max}^{\text{АБ}}$ — акумуляторних батарей.

2.2 Моделі комбінованої енергосистеми й її елементів

Для реалізації методики вибору оптимальної структури гібридної енергосистеми розроблено алгоритм (рис. 1.2.1) та імітаційні моделі окремих компонентів в середовищі Simulink: Математичні моделі дизель-генератора, фотоелектричних панелей, вітроагрегату, акумуляторних батарей (рис. 1.2.2—рис. 1.2.6).

Переваги запропонованого підходу:

- а) врахування динаміки процесу енергозабезпечення;
- б) погодинний розрахунок балансу потужності;
- в) наочність і зрозумілість роботи системи;
- г) можливість оцінки за показниками чистої приведеної вартості, собівартості енергії, коефіцієнта заміщення палива.

Отже, розроблена імітаційна модель дозволяє обґрунтувати оптимальний склад і режими функціонування гібридної енергосистеми для конкретних умов

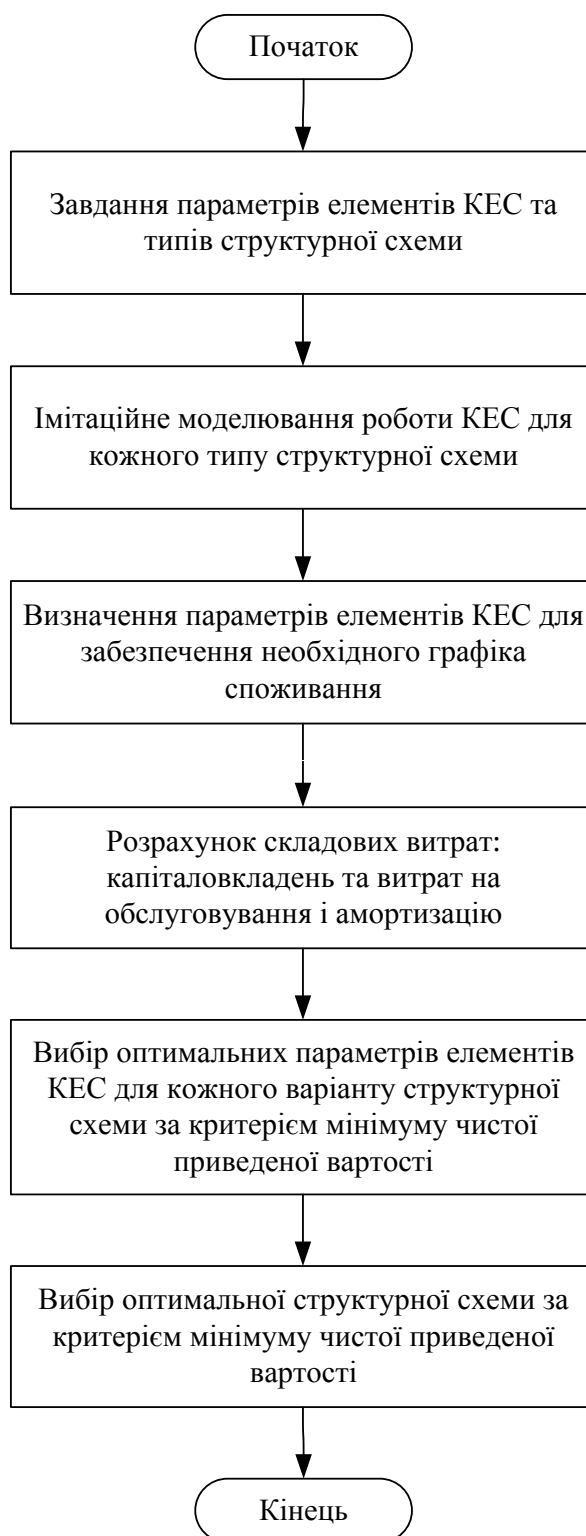


Рисунок 1.2.1 — Алгоритм вибирання оптимальної структури комбінованої енергосистеми

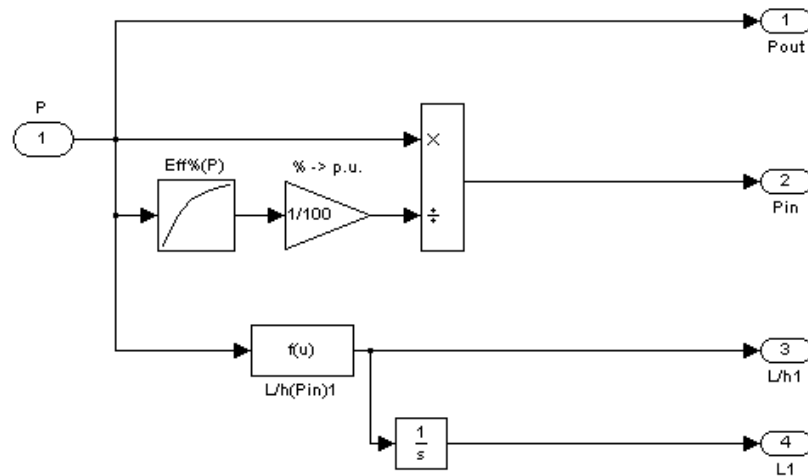


Рисунок 1.2.2 — Математична модель дизель-генератора

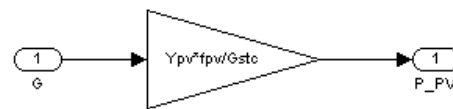


Рисунок 1.2.3 — Математична модель фотоелектричної батареї

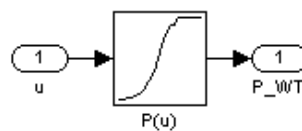


Рисунок 1.2.4 — Математична модель вітроелектричного агрегату

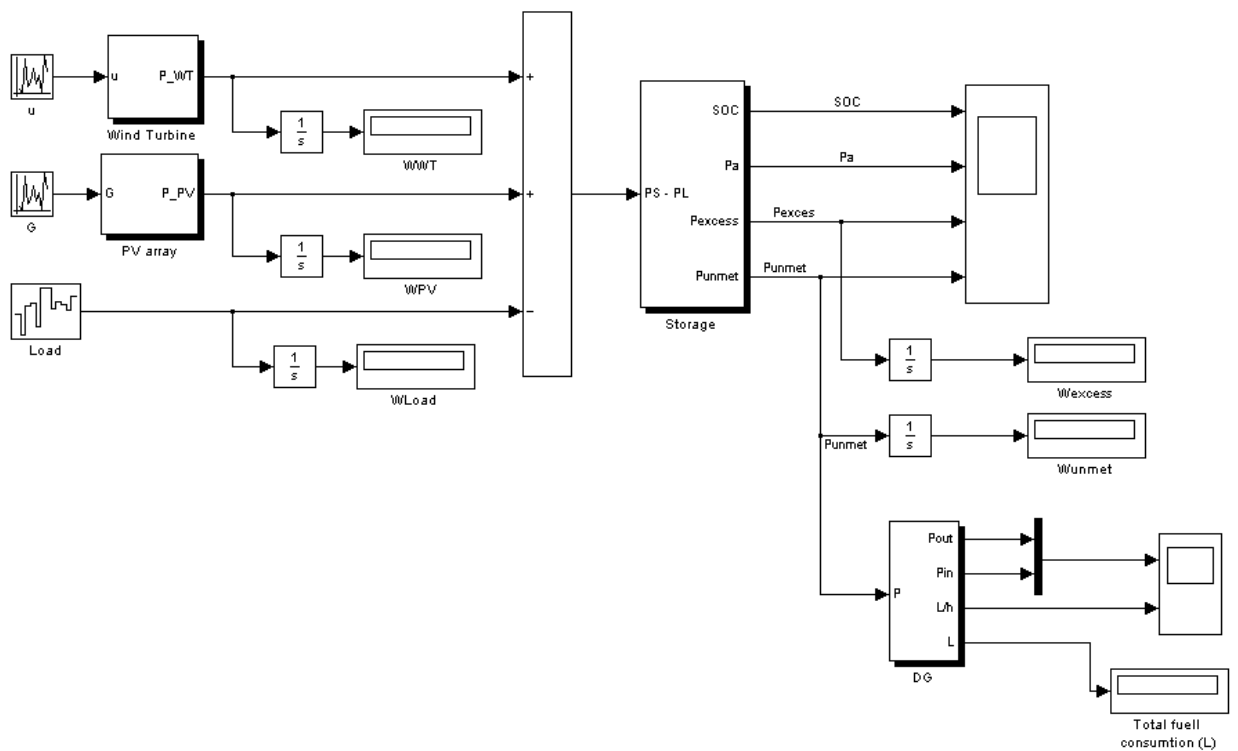


Рисунок 1.2.6 — Імітаційна модель обґрунтування оптимальних режимів комбінованих енергосистем в Simulink

3. ОЦІНЮВАННЯ ПАЛИВНО- ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ РОСЛИННИЦТВА

3.1 Комплексне дослідження рослинницької галузі сільського господарства, як джерела біоенергетичних ресурсів

У зв'язку з тенденцією переходу від традиційних до альтернативних схем теплопостачання спостерігається зростання попиту на біопаливо. Водночас, процес модернізації котелень часто відбувається без належного наукового обґрунтування можливостей забезпечення паливом з місцевих джерел. Це актуалізує дослідження та прогнозування виробничого потенціалу біоенергетичної сировини по регіонах.

Порівняльний аналіз районів за біоенергетичним потенціалом дає змогу виявити найпродуктивніші, встановити впливові чинники та пріоритетні культури у конкретних природно-кліматичних умовах.

Разом з тим, прогнозування ускладнюється нестабільністю посівних площ та порушенням сівозмін, що пов'язано з бажанням агровиробників максимізувати короткостроковий прибуток.

На прикладі Кіровоградської області здійснено комплексне дослідження рослинницької галузі як джерела біоенергоресурсів для обґрунтування можливостей теплопостачання на основі відновлюваних джерел енергії.

Кіровоградська область розташована на межі лісостепової та степової зон, що зумовило специфічні умови для сільського господарства. Зокрема, господарства центральних, північних і західних районів спеціалізуються на вирощуванні зернових та технічних культур; південних і східних - зернових, кукурудзи, соняшнику; в зоні Придніпров'я - переважно зернових, сої, ріпаку та кукурудзи.

Згідно статистики, понад 80% сільгоспугідь області займають орні землі. Це робить рослинницьку галузь перспективним джерелом біопалива. Нормативи оптимального співвідношення культур за природно-кліматичними зонами встановлено законодавчо [7]. Проте фактичні посівні площі, особливо

під соняшником, значно перевищують норми - до 60% [1], що пояснюється прагненням агровиробників максимізувати короткостроковий прибуток.

На підставі даних обласного центру агропромислового розвитку здійснено оцінку потенціалу вторинної рослинницької сировини (соломи, стебел, лушпиння), що може бути використана для виробництва біопалива.

Дослідження проведено за три роки по 13 основних сільськогосподарських культурах, серед яких ярі та озимі зернові, ріпак, горох, сорго, соняшник, кукурудза, соя та інші.

Оскільки інформація про обсяг збору непродуктивних частин рослин зазвичай відсутня, для розрахунку їх маси було застосовано непрямий метод на базі даних про валовий урожай сільгоспкультур та відповідних коефіцієнтів перерахунку [2]. Це дозволило оцінити біоенергетичний потенціал рослинницької галузі Кіровоградщини.

3.2 Алгоритм розрахунку енергетичного біопотенціалу

Розрахунок енергетичного біопотенціалу виконуємо за наступним алгоритмом:

1-й крок – за площами посівів та значенням валового врожаю, обчислюємо продуктивність P зернової частини с/г культур:

$$P=B/S, \quad (3.1)$$

де B – врожай, кг/га, S – площа посівів;

2-й крок – осереднюємо продуктивність P_{CP} с/г культур:

$$P_{CP}=(\sum P_i)/T, \quad (3.2)$$

де P_i – продуктивність культури в i -му році, T – період, років;

3-й крок – з'ясовуємо біопродуктивність непродуктивної частини с/г культур:

$$BP= P_{CP} \cdot K_{BC}, \quad (3.3)$$

де K_{BC} – співвідношення мас продуктивної та непродуктивної частин рослини [2];

4-й крок – з'ясовуємо біоенергопродуктивність E кожної с/г культури :

$$E = \text{БП} \cdot Q_{HP}, \quad (3.4)$$

де Q_{HP} – теплота згоряння біосировини, Дж/кг;

5-й крок – оцінюємо біопродуктивність E_H культур нетто з врахуванням втрат при переробці (K_{BTP}) і неенергетичного використання сировини (K_{EH}):

$$E_H = (1 - K_{BTP}) \cdot K_{EH} \cdot E. \quad (3.5)$$

Коефіцієнт K_{EH} показує частку біосировини, що використовують на корм, санітарно-гігієнічні потреби тваринництва тощо.

Значення коефіцієнтів для визначення E_H зведемо до табл.1.

Таблиця 3.1.8 - Коефіцієнти K_{BC} , K_{BTP} , K_{EH} для розрахунку енергопотенціалу E непродуктивної частини с/г культур

С/г культура	Q_{HP} , кДж/кг	K_{BC}	K_{BTP}	K_{EH}
Жито	15460	1,9	0,1	0,5
Пшениця	17180	1,6	0,1	0,5
Овес	16130	1,6	0,1	0,4
Просо	12570	1,6	0,1	0,5
Рис	12570	1,1	0,1	1
Гречка	12570	1,9	0,1	0,8
Горох	12570	1,2	0,15	0,5
Кукурудза	13701	1,3	0,25	1
Ячмінь	15922	1,2	0,1	0,6
Соя	15922	1,3	0,1	1
Ріпак	15335	1,5	0,1	1
Сонях (стебла)	13701	2,2	0,3	1
Сонях (лушпиння)	15712	0,19	0,05	1

Оскільки у сорго стебло є цінною продуктивною частиною, що повністю використовується, дану культуру було виключено з подальших розрахунків біоенергетичного потенціалу.

Для оцінки можливого виходу умовного палива розраховано середньорічну біоенергопродуктивність основних сільськогосподарських культур Кіровоградської області за 2018-2021 роки в розрізі районів. Результати

зведено у таблицю 2 за такими показниками: валовий збір непродуктивної фітомаси, вихід умовного палива та біоенергопродуктивність.

Проведені розрахунки дають уявлення про потенціал виробництва твердого біопалива з відходів основних сільгоспкультур по території Кіровоградської області.

Таблиця 2. Середньорічна біоенергопродуктивність (E , т.у.п./га)
с/г культур бруто

Район \ Культура	Пшениця (яра)	Пшениця (озима)	Ячмінь (ярий)	Ячмінь (озимий)	Овес	Жито	Гречка	Сонях	Просо	Кукурудза	Соя	Ріпак	Середня
Бобринецький	0,32	0,42	0,23	0,32	0,67	0,58	0,44	1,06	0,51	1,60	0,82	0,91	0,66
Вільшанський	0,31	0,48	0,24	0,36	0,92	0,65	0,48	1,42	0,61	2,19	0,90	1,01	0,80
Гайворонський	0,32	0,47	0,30	0,38	1,05	0,54	0,45	1,42	0,72	2,17	1,02	1,13	0,83
Голованівський	0,31	0,51	0,24	0,38	0,98	0,37	0,36	1,40	0,69	2,40	1,02	1,13	0,82
Добровеличківський	0,34	0,48	0,21	0,37	0,79	0,51	0,45	1,46	0,53	2,58	0,97	1,07	0,81
Долинський	0,32	0,39	0,21	0,25	0,68	0,62	0,31	1,19	0,52	1,32	0,69	0,77	0,61
Знам'янський	0,31	0,53	0,32	0,40	0,95	0,45	0,41	1,69	0,74	2,92	1,08	1,20	0,92
Кіровоградський	0,36	0,49	0,26	0,36	0,83	0,53	0,35	1,48	0,65	2,06	0,98	1,09	0,79
Компаніївський	0,32	0,42	0,22	0,29	0,70	0,55	0,43	1,38	0,56	1,57	0,96	1,07	0,71
Маловисківський	0,28	0,47	0,24	0,37	0,92	0,54	0,46	1,30	0,62	2,25	0,92	1,02	0,78
Новгородківський	0,28	0,46	0,24	0,31	0,73	0,29	0,27	1,31	0,58	1,61	0,91	1,01	0,67
Новоархангельський	0,30	0,48	0,28	0,41	1,02	0,50	0,42	1,37	0,76	2,34	0,97	1,08	0,83
Новомиргородський	0,29	0,50	0,24	0,36	0,99	0,71	0,54	1,54	0,65	2,84	1,15	1,28	0,91
Новоукраїнський	0,22	0,54	0,28	0,42	0,94	0,43	0,45	1,49	0,68	2,46	0,97	1,08	0,83
Олександрівський	0,16	0,38	0,27	0,28	0,91	0,44	0,48	1,34	0,75	2,67	0,97	1,07	0,81
Олександрійський	0,27	0,59	0,35	0,42	0,96	0,44	0,43	1,45	0,82	2,60	0,92	1,02	0,86
Онуфріївський	0,31	0,53	0,26	0,35	0,86	0,45	0,36	1,19	0,62	2,04	0,77	0,85	0,72
Петрівський	0,32	0,47	0,24	0,36	0,79	0,53	0,35	1,27	0,55	1,60	0,79	0,87	0,68
Світловодський	0,27	0,45	0,22	0,26	0,61	0,42	0,42	1,28	0,66	2,79	1,10	1,22	0,81
Ульянівський	0,37	0,53	0,33	0,41	1,01	0,64	0,48	1,39	0,76	2,66	0,84	0,93	0,86
Устинівський	0,32	0,48	0,27	0,33	0,77	0,36	0,35	1,32	0,53	1,72	0,73	0,81	0,67

Аналізуючи дані таблиці 2, бачимо, що в усіх районах області найбільший енергетичний потенціал мають такі сільськогосподарські культури, як кукурудза, соняшник, ріпак, овес, соя, жито та пшениця. При цьому частка соняшника і кукурудзи становить 40-50% від загального енергопотенціалу рослинної біомаси по кожному району, а внесок решти культур значно нижчий.

Варто згадати, що в паливному балансі області істотний потенціал має соняшникове лушпиння. Проте воно не враховане в районних балансах, адже лушпиння транспортується разом із зерном на олійно-жирові комбінати для переробки і є їхньою власністю. Також з розрахунків випливає, що внесок гороху (0,01-0,05 т.у.п./га) в енергетичний баланс на порядок менший, ніж в інших сільськогосподарських культур, тож ним можна знехтувати.

При оцінці енергопотенціалу ярих та озимих зернових (пшениці, ячменю) слід враховувати, що вони мають подібні характеристики і властивості [3, 4] та збираються приблизно в один і той самий час.

Згідно опублікованих даних Міністерства аграрної політики, найбільшу площу посівів сільгоспкультур в області займають кукурудза, пшениця та соняшник. Отже, саме ці культури мають найвищий потенціал для виробництва біопалива.

При оцінці біоенергетичного потенціалу кукурудзи слід взяти до уваги, що частину площ, відведених під її посів, використовують як кормову базу. Зокрема, у кормовому балансі кукурудза на силос разом з багаторічними травами займає провідне місце, становлячи 16-25% польових кормових площ (на Поліссі - менше, у Лісостепу і Степу - більше) [5]. Відповідно для Кіровоградської області при оцінці чистого біоенергетичного потенціалу кукурудзи застосовуємо коефіцієнт 0,75.

Порівнюючи найбільш енергопродуктивні культури, бачимо, що за цим показником кукурудза в середньому на 40% перевершує соняшник у більшості районів.

Завдяки значним площам посіву (особливо озимої) пшениця посідає третє місце в області за валовим збором соломи.

Будуючи за результатами розрахунків (табл. 1) карту (рис. 1) сумарного біоенергетичного потенціалу по районах Кіровоградської області, спостерігаємо різницю між крайніми районами до 34%.

Таблиця 3. Середньорічна біоенергопродуктивність нетто (E_H , т.у.п./га)
с/г культур по районах (з урахуванням K_{EH})

Район \ Культура	Пшениця (яра)	Пшениця (озима)	Ячмінь (ярий)	Ячмінь (озимий)	Жито	Овес	Просо	Кукурудза	Гречка	Сонях	Соя	Ріпак	Середня
Бобринецький	0,14	0,19	0,17	0,13	0,26	0,24	0,23	1,20	0,32	0,74	0,74	0,82	0,42
Вільшанський	0,14	0,21	0,19	0,13	0,29	0,33	0,27	1,64	0,35	0,99	0,81	0,91	0,51
Гайворонський	0,15	0,21	0,20	0,16	0,24	0,38	0,32	1,63	0,32	0,99	0,92	1,02	0,53
Голованівський	0,14	0,23	0,21	0,13	0,17	0,35	0,31	1,80	0,26	0,98	0,92	1,02	0,53
Добровеличківський	0,15	0,21	0,20	0,12	0,23	0,28	0,24	1,94	0,32	1,02	0,87	0,96	0,53
Долинський	0,14	0,17	0,13	0,11	0,28	0,24	0,23	0,99	0,22	0,83	0,62	0,69	0,38
Знам'янський	0,14	0,24	0,22	0,17	0,20	0,34	0,33	2,19	0,30	1,18	0,97	1,08	0,60
Кіровоградський	0,16	0,22	0,19	0,14	0,24	0,30	0,29	1,55	0,25	1,04	0,88	0,98	0,51
Компаніївський	0,14	0,19	0,16	0,12	0,25	0,25	0,25	1,18	0,31	0,97	0,86	0,96	0,46
Маловисківський	0,13	0,21	0,20	0,13	0,24	0,33	0,28	1,69	0,33	0,91	0,83	0,92	0,51
Новгородківський	0,13	0,21	0,17	0,13	0,13	0,26	0,26	1,21	0,19	0,92	0,82	0,91	0,43
Новоархангельський	0,14	0,22	0,22	0,15	0,23	0,37	0,34	1,76	0,30	0,96	0,87	0,97	0,53
Новомиргородський	0,13	0,22	0,20	0,13	0,32	0,36	0,29	2,13	0,39	1,08	1,04	1,15	0,61
Новоукраїнський	0,10	0,24	0,23	0,15	0,19	0,34	0,31	1,85	0,32	1,04	0,87	0,97	0,54
Олександрівський	0,07	0,17	0,15	0,15	0,20	0,33	0,34	2,00	0,35	0,94	0,87	0,96	0,54
Олександрійський	0,12	0,26	0,23	0,19	0,20	0,35	0,37	1,95	0,31	1,02	0,83	0,92	0,55
Онуфріївський	0,14	0,24	0,19	0,14	0,20	0,31	0,28	1,53	0,26	0,83	0,69	0,77	0,45
Петрівський	0,14	0,21	0,19	0,13	0,24	0,28	0,25	1,20	0,25	0,89	0,71	0,78	0,43
Світловодський	0,12	0,20	0,14	0,12	0,19	0,22	0,30	2,09	0,30	0,90	0,99	1,10	0,55
Ульянівський	0,17	0,24	0,22	0,18	0,29	0,36	0,34	2,00	0,35	0,97	0,76	0,84	0,55
Устинівський	0,15	0,21	0,18	0,15	0,16	0,28	0,24	1,29	0,25	0,92	0,66	0,73	0,42

Така значна різниця біоенергетичного потенціалу між районами зумовлена трьома основними чинниками:

- Належністю південних районів до кліматичної зони Степу, де спостерігаються різкіші коливання погодних умов;
- Відмінностями за якістю та властивостями ґрунтів по районах;
- Недотриманням сівозмін сільськогосподарськими підприємствами та фермерськими господарствами.

Враховуючи всі ці негативні фактори, а також коефіцієнти енергопродуктивності та втрат під час переробки біомаси, отримуємо карту чистих енергопотенціалів по районах (рис. 2). Порівнюючи середні показники валового ($E_{cr} = 0,78$) та чистого ($E_{H.cr} = 0,52$) біоенергетичних потенціалів

області, бачимо, що реально досяжний потенціал становить близько 67% розрахункового.

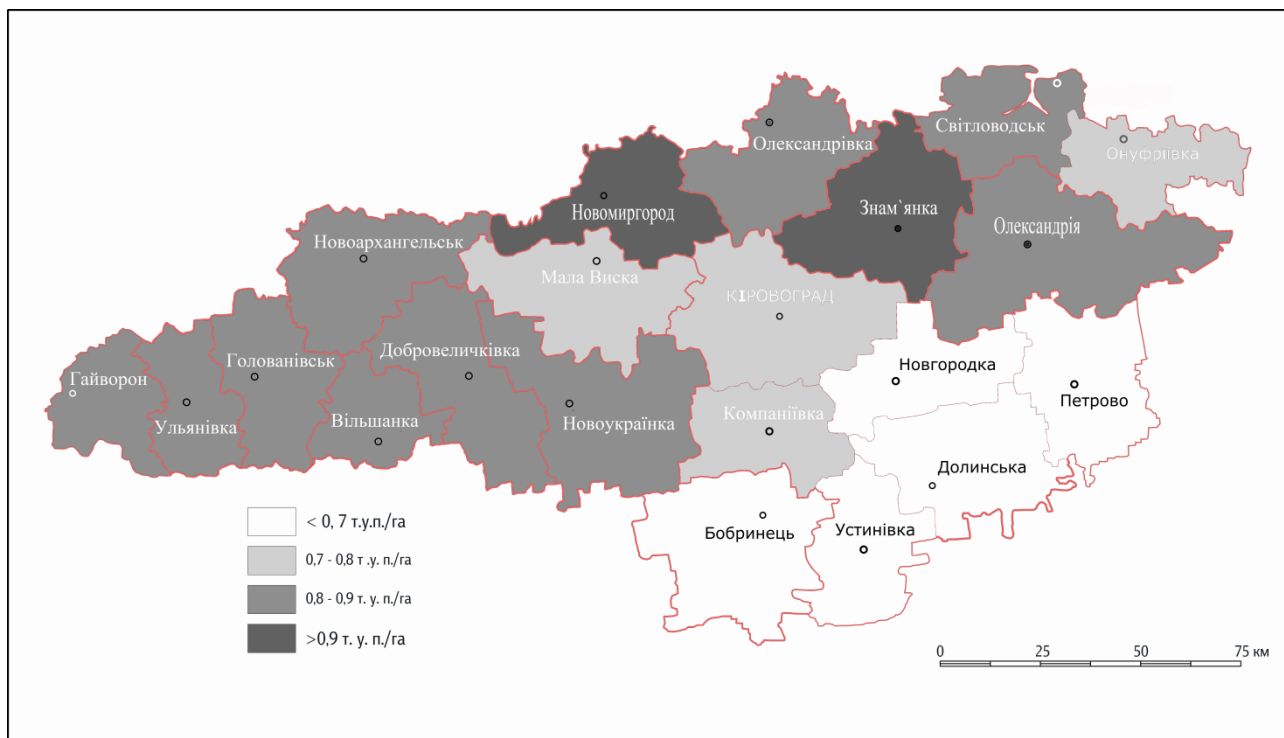


Рис. 3.1. Мапа біоенергетичного потенціалу (брутто)

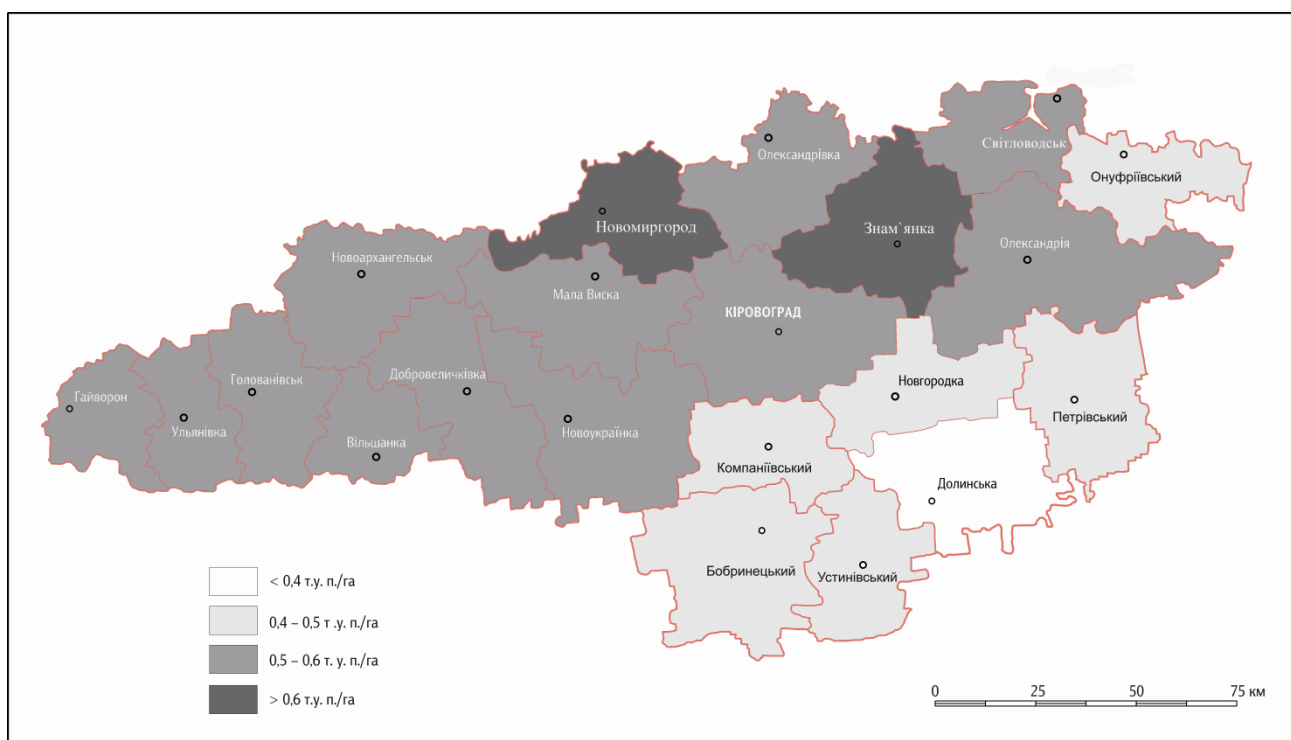


Рис. 3.2. Мапа нетто-біоенергетичного потенціалу біомаси з урахуванням втрат при переробці та неенергетичного використання та коефіцієнту енергопродуктивності

Аналізуючи розподіл чистого біоенергетичного потенціалу (табл. 3 та рис. 2), бачимо, що найвищий сумарний показник по всіх культурах має Новомиргородський район ($E_n = 0,6$ ТДж/га). Пріоритетними тут є кукурудза (2,13 ТДж/га), ріпак (1,15 ТДж/га) та соняшник (1,08 ТДж/га). Друге місце посідає Знам'янський район ($E_n = 0,6$ ТДж/га) з провідними культурами: кукурудзою (2,19 ТДж/га), соняшником (1,18 ТДж/га) та ріпаком (1,08 ТДж/га). Третій результат у Олександрійського району ($E_n = 0,55$ ТДж/га), де лідирують кукурудза (1,95 ТДж/га), соняшник (1,02 ТДж/га) і ріпак (0,92 ТДж/га).

Саме в цих трьох районах доцільно споруджувати пелетно-брикетні заводи і, першочергово, здійснювати перехід від традиційних систем опалення до альтернативних джерел енергії.

Найнижчі показники біоенергопотенціалу у Долинського ($E_{n.мін} = 0,38$ ТДж/га) та Бобринецького ($E_{n.мін} = 0,42$ ТДж/га) районів. Проте навіть тут за окремими культурами (кукурудза, ріпак, соняшник) досягнуто доволі високої біоенергопродуктивності (0,7-1,9 ТДж/га).

Карта на рисунку 1 демонструє максимально можливий рівень сумарного біоенергетичного потенціалу. Для наближення реальних показників (рис. 2) до цих теоретичних значень необхідно запроваджувати інформаційні та нормативні заходи зі стимулювання сільгосппідприємств до збереження і переробки вторинної рослинницької сировини на біопаливо. Наприклад, у країнах ЄС замість солом'яної підстилки використовують злив відходів у біореактори, а також запроваджують новітні технології у тваринництві, що знижують коефіцієнти втрат $K_{ВТР}$ і підвищують чисту енергопродуктивність $K_{ЕН}$.

Отже:

1. Порівняльний аналіз біоенергетичного потенціалу районів дозволяє виявити найпродуктивніші, де доцільно споруджувати пелетно-брикетні заводи і першочергово переходити від традиційних джерел енергії до альтернативних.

2. У всіх районах степової та лісостепової зон найбільш енергопродуктивними є кукурудза, соняшник, ріпак, ячмінь, жито та пшениця.

При цьому на частку кукурудзи і соняшника припадає 40-50% загального енергопотенціалу рослинної біомаси кожного району.

3. Оскільки реально досяжний потенціал становить близько 67% розрахункового, необхідно впроваджувати новітні технології у тваринництві для зниження витрат біомаси на корм та інші потреби.

4. Скрізь найбільш енергопродуктивними є пшениця, кукурудза, соняшник, ячмінь та жито. На частку пшениці й кукурудзи припадає 50-80% загального енергопотенціалу біомаси кожного району. З урахуванням втрат кукурудза в середньому на 10% продуктивніша за пшеницю. У деяких районах через переважання посівів кукурудзи і соняшнику та використання біомаси на корм худобі загальний біоенергопотенціал знижується до 43%.

4. ПОТЕНЦІАЛ ТЕПЛА ҐРУНТУ ПО РАЙОНАХ КІРОВОГРАДСЬКОЇ ОБЛАСТІ

На даний час використання низькопотенціальної теплоти ґрунтів є перспективним, проте проблематичним через недостатню вивченість геологічних особливостей, теплових потенціалів ґрунтів та стічних вод Кіровоградської області.

Перевагою геотермальних установок з теплообмінником у ґрунті є можливість їх використання у віддалених місцевостях, позбавлених альтернативних джерел енергії (наприклад, невеликими фермерськими господарствами для опалення будівель).

Для Кіровоградської області характерна наступна геологічна будова: чохол осадових порід потужністю від декількох до 150 м, що залягає на кристалічній основі. Нижній шар 1 утворений пісками, вугіллям, глинами; середній 2 – переважно піщано-глинистими породами; верхній 3 складається з трьох підшарів глин та ґрунтового покриву [14].

Отже, наявний потенціал геотермальної енергії в області потребує подальшого дослідження для ефективного практичного застосування.

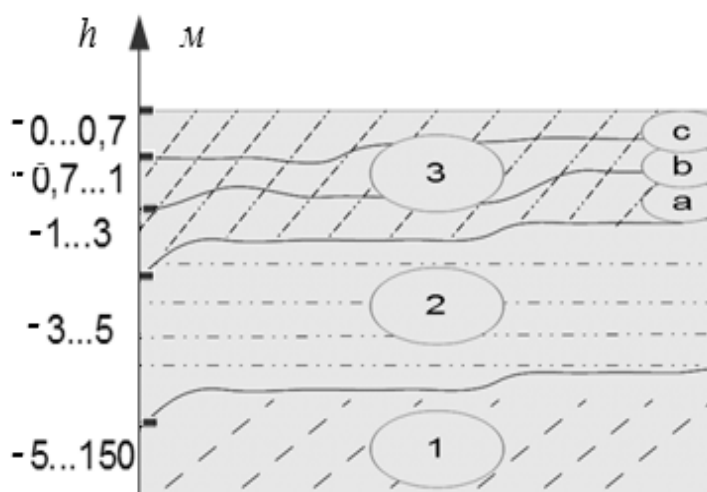


Рисунок 4.1 – Структура шару осадових відкладів (1 – палео-геновий шар, 2 – нео-геновий шар, 3 – антропо-геновий шар, а - нижньо-антропогеновий, b - верхньо-антропогеновий, c – поверхневий шар)

У ґрунтовому покриві області переважають чорноземи – від глибоких опідзолених на півночі до малогумусних на півдні. Також у деяких районах є ділянки сірих лісових і болотних ґрунтів [13]. Теплові параметри найпоширеніших типів ґрунтів наведено в таблиці 12.

Розрахунок геотермальних теплових насосів в обводнених ґрунтах істотно ускладнюється, тому в даному дослідженні не розглядається.

Для проектування систем з використанням низькопотенціальної теплоти ґрунту необхідний комплексний підхід, що враховує взаємодію джерела тепла, енергоустановки та споживача. Адже ґрунт є складною теплофізичною системою [13].

Таблиця 4.1— Теплові параметри ґрунтів

Тип ґрунту	Теплопровідність, $\text{Дж} \cdot \text{см}^3 / \text{C}^\circ$	Теплоємність, $\text{Дж} / \text{см}^3 \cdot \text{C}^\circ$
Чорнозем	0,83	0,003
Глина	0,577	0,0028
Пісок	0,517	0,0024
Чорнозем глибокий	0,71	0,0027
Чорнозем середньогумусний	0,71	0,0026
Чорноземно-лучний ґрунт	0,83	0,003
Супісок	0,36	0,0025
Суглинок	0,65	0,027
Чорнозем сірий	0,71	0,0026

З огляду на незначні розміри зерен і пор ґрунту порівняно з геометричними характеристиками теплообмінника, ґрунт можна розглядати як однорідне середовище з усередненими теплофізичними параметрами [14]. Вони інтегрально враховують вплив неоднорідності.

На мапах (Рис. 11-12) показано розподіл обсягів теплової енергії з різних типів ґрунтів (для найпоширеніших в області), що можна отримати з 1 м² поверхневого шару товщиною 1,5 м та 10,5 м відповідно.

Аналіз мап дозволяє зробити висновок, що найвищий потенціал ґрунтового тепла в Ульяновському, Гайворонському та інших районах (80-87 Вт/м²). Це пояснюється вищою вологістю ґрунтів, оскільки вологі краще акумулюють тепло. Найнижчі показники в Новомиргородському районі (67,5 Вт/м²).

Аналіз карт розподілу енергетичного потенціалу ґрунтового тепла показує, що найвищі показники спостерігаються в районах з більш вологими ґрунтами - Ульяновському, Гайворонському, Олександрійському, Онуфріївському, Бобринецькому та Світловодському (80,25-87,375 Вт/м²). А найнижчий потенціал зафіксовано в Новомиргородському районі (67,5 Вт/м²) (див. рис. 4.1-4.2).

Це пояснюється тим, що вологі ґрунти краще акумулюють і утримують тепло. Тому саме в районах з високим ступенем зволоження ґрунтів доцільно в першу чергу розглядати можливість використання геотермальної енергії.

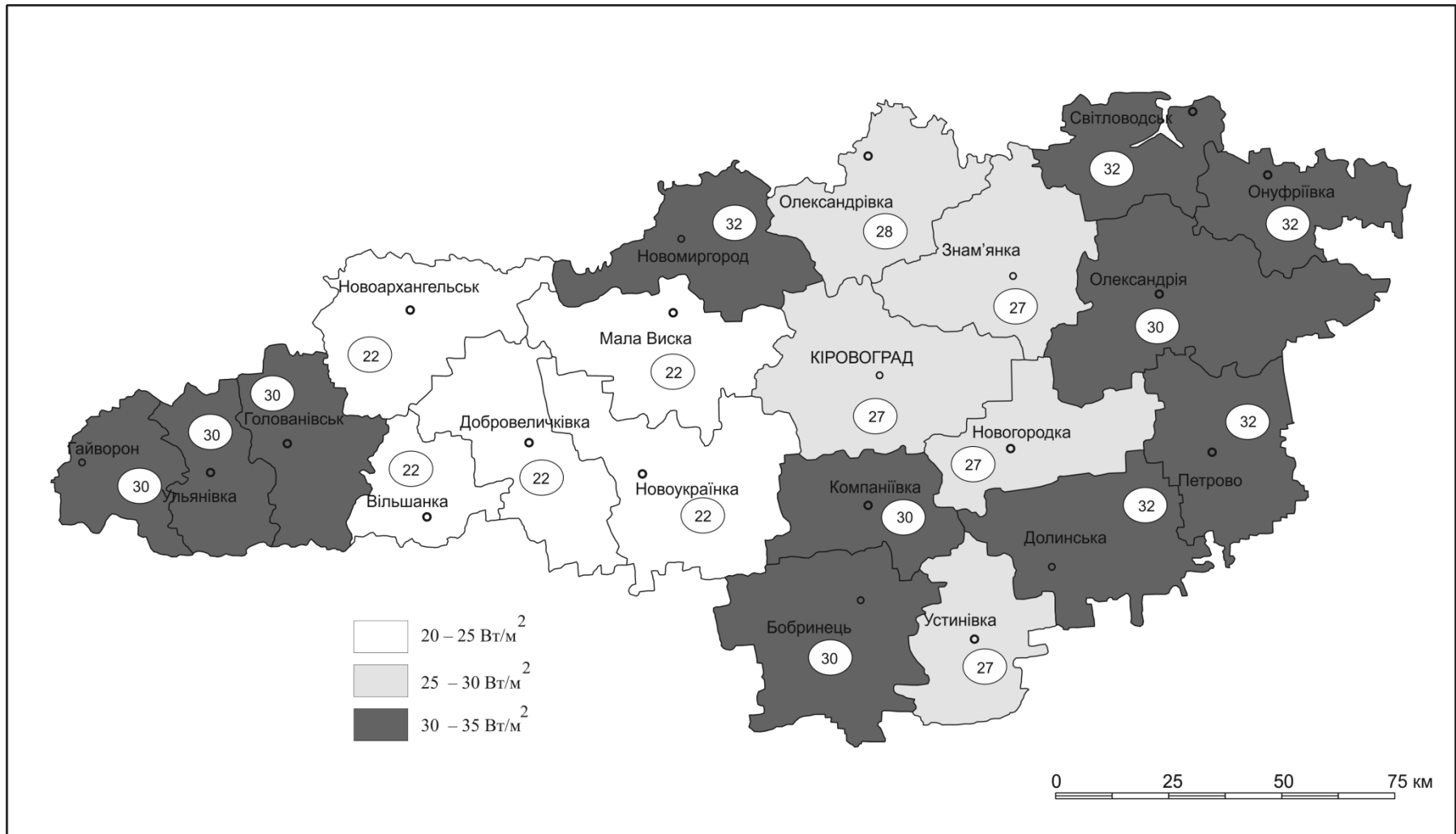


Рисунок 4.1 – Розподіл теплової енергії, що можна отримати з 1 м² шару товщиною 1,5 м по області (Вт/м²)

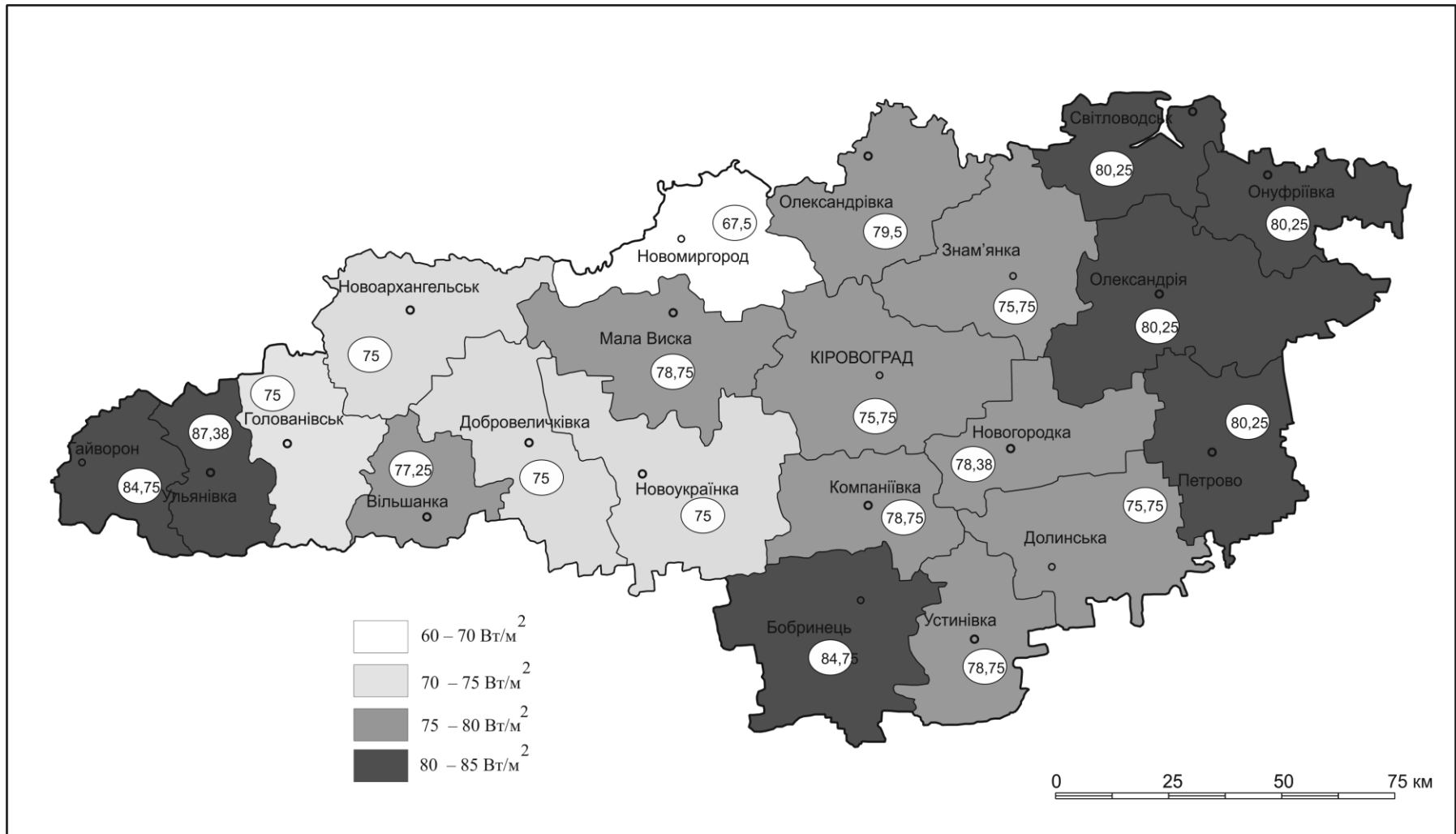


Рисунок 4.2 – Розподіл теплової енергії, що можна отримати з 1 м² шару товщиною 10,5 м

5. РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДІВ КОМПЛЕКСНОГО УПРАВЛІННЯ РЕЖИМАМИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ОБЛАСНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ БАЛАНСІВ

5.1 Проблема нерівномірності режимів споживання електроенергії

Нерівномірність режимів споживання електроенергії призводить до низки негативних наслідків: збільшення втрат при передачі, погіршення якості, необхідності будівництва додаткових маневрових електростанцій, підвищення аварійних ризиків, ускладнення режимів роботи енергокомпаній та об'єднаної енергосистеми, погіршення екології, прискореного зносу устаткування тощо.

Це зумовлює необхідність оптимізації паливно-енергетичних балансів шляхом регулювання режимів електроспоживання та залучення альтернативних джерел енергії в пікові періоди навантаження на енергосистему.

Наприклад, у Кіровоградській області на сільськогосподарських (СГ) споживачів припадає понад 220 МВт·год електроенергії на добу. При цьому графік електричного навантаження має різко виражений пік з 9 до 11 години (Рис. 5.1).

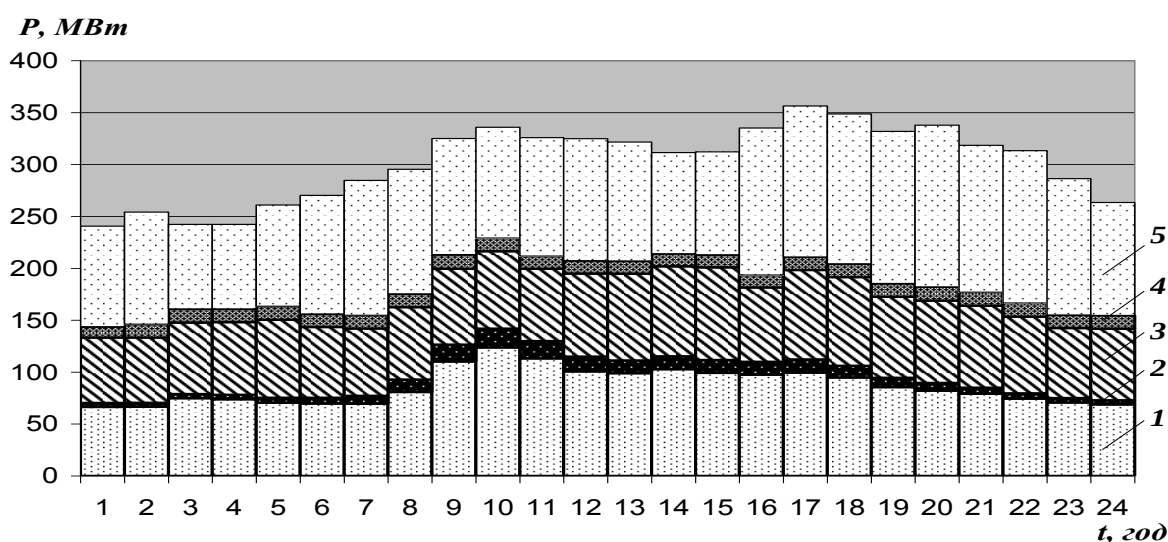


Рисунок 5.1 - ГЕН споживання ЕЕ групами споживачів: 1 – промисловість; 2 – сільське господарств; 3 – транспорт; 4 – комунальне господарство, 5 – населення

Розглянемо особливості електроспоживання по районах Кіровоградської області у грудні 2020 р. (Рис. 5.1). Найбільш енергоємними виявилися Кіровоградський (26,1%), Новоукраїнський (10,5%) та Голованівський (10,1%) райони.

Основну частину споживачів області складають невеликі аграрні та комунально-побутові підприємства сільської місцевості. Це підвищує доцільність використання систем з розподіленою генерацією електроенергії на базі місцевих джерел.

Тобто, структура енергоспоживання області визначає перспективність застосування децентралізованих поновлюваних джерел енергопостачання для забезпечення локальних потреб.

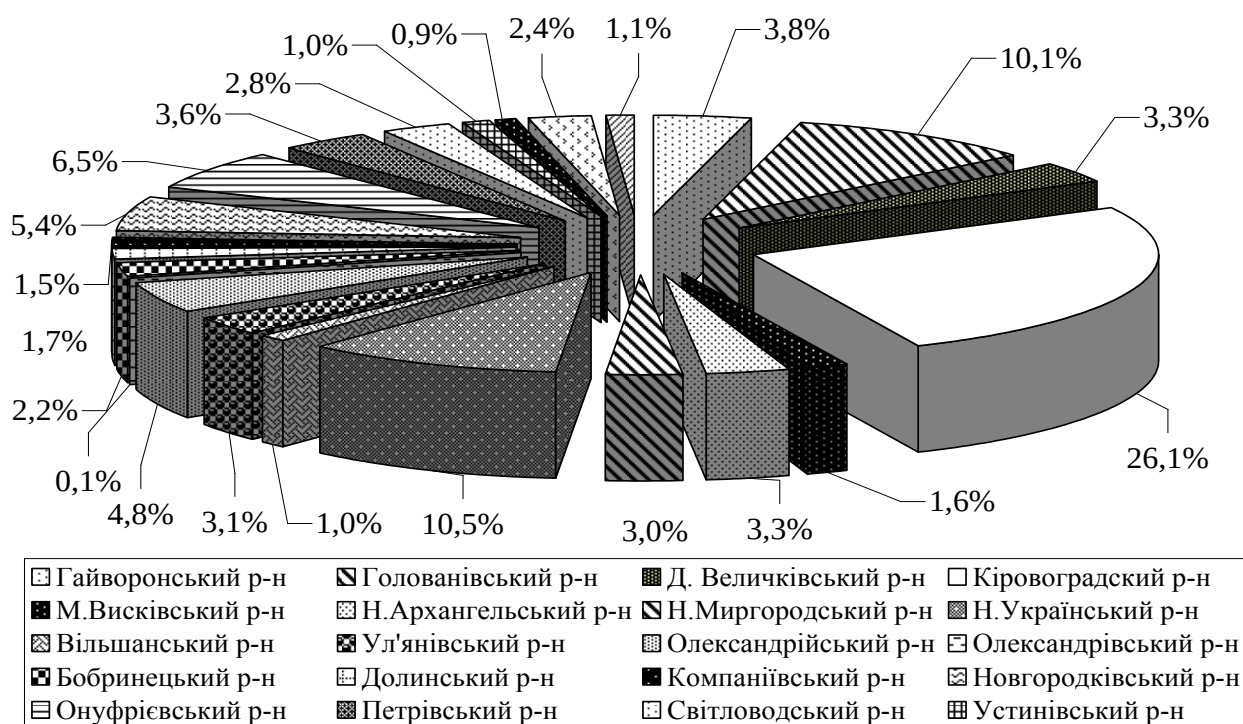


Рисунок 5.2 – Розподіл обсягів споживання електроенергії по районах Кіровоградської області

Технологічні особливості сільськогосподарського виробництва, пов'язані з біологічними процесами, визначають жорстку прив'язку певних операцій (годування, доїння) до конкретного часу. Тому метод адитивного зсуву графіків

електричного навантаження (ГЕН) є проблематичним для управління енергоспоживанням в агросекторі.

5.2 Методи управління енергоспоживанням

Запропоновано вирівнювання ГЕН на основі технологічного ресурсу з використанням методів сітьового планування.

Доцільно попередньо вивести питомі норми енергоспоживання та проранжувати методи управління режимами для виявлення пріоритетів.

Було опитано 10 експертів для оцінювання дієвості методів управління на різних рівнях енергосистеми. За результатами застосовано статистичну обробку та узагальнення думок фахівців [7].

Проводилось ранжування 6 методів управління режимами електроспоживання за їх впливовістю на 5 рівнях енергосистеми:

1-технологічна операція

2-техпроцес

3-окремий споживач

4- енергокомпанія

5- вузлова підстанція.

10 експертам запропоновано оцінити кожен метод на кожному рівні за шкалою від 1 (найменший вплив) до 6 (найбільший).

Результати опитування та їх статистична обробка наведені в таблиці 1 у вигляді матриці "експерт-метод".

Далі для кожного методу підсумовано суми рангів S_j від експертів для визначення загального пріоритету методу:

$$S_1 = \sum_{j=1}^m x_{ij} = 5+5+6+6+6+6+6+6+6+6 = 58, \quad (5.1.1)$$

де m – число експертів,

x_{ij} – оцінка i -го експерта для j -го методу.

Показник впливу n методів $T_u = \sum_{u=1}^n (t_u^3 - t_u)$,

де n – кількість зв'язаних рангів у рядку;

t_u – число у u -му рядку рівних рангів.

Таблиця 5.1.1 - Ранжування методів для рівня операція

N експерта з/п	Найменування методів						T_u
	Техніко- техно- логічний (ТТМ)	Нормативний (НМ)	Адміністра- тивний (АМ)	Організацій- ний (ОМ)	Інформа- ційний (ІПМ)	Економічний (ЕМ)	
	Ранги методів						
1	5	3	1	3	2	5	12
2	5	2	1	2	1	3	12
3	6	1	3	4	1	2	6
4	6	5	3	4	1	4	6
5	6	5	2	3	1	4	-
6	6	5	3	4	1	2	-
7	6	4	1	5	2	3	-
8	6	5	3	4	1	2	-
9	6	5	3	4	1	2	-
10	6	5	3	4	1	2	-
S_i	58	40	23	37	12	29	36
L_j^2	529	25	144	4	529	36	-
Ступінь впливу методу	1	2	5	3	6	4	

Показник однаковості впливу за думкою 1-го експерта:

$$T_1 = \sum_{u=1}^n (t_u^3 - t_u) = 2^3 - 2 + 2^3 - 2 = 12. \quad (5.1.2)$$

Для інших значень результати зведені в табл. 5.1.1, результати ранжування – на рис.5.1.1.

Відхилення L_j для 1-го методу (ТТМ):

$$L_1 = \left(\sum_{i=1}^m x_{ij} - a \right) = 58 - 35 = 23, \quad (5.1.3)$$

де a – середнє арифметичне чисел, $a = 0,5 \cdot m \cdot (k+1) = 0,5 \cdot 10 \cdot (6+1) = 35$, k – число методів.

Знаходимо L_j^2 :

$$L_1^2 = \left(\sum_{i=1}^m x_{ij} - a \right)^2 = 23^2 = 529. \quad (5.1.4)$$

Погодженість експертів оцінюється коефіцієнтом конкордації W ; для I рівня ЕЕС W [7]:

$$W = \frac{12 \sum_{j=1}^k L_j^2}{m^2(k^3 - k) - m \sum_{u=1}^l T_u} = \frac{12 \cdot 1240}{10^2(6^3 - 6) - 10 \cdot 36} = 0,7209. \quad (5.1.5)$$

Коефіцієнт W може змінюватися у межах $0 \leq W \leq 1$.

Оскільки $W \in$ випадковою, то вимагає перевірки з використанням коефіцієнта Пірсона:

$$\chi_{розр}^2 = W \cdot m \cdot (k - 1) = 0,7209 \cdot 10 \cdot (6 - 1) = 36,05. \quad (5.1.6)$$

Число ступенів свободи:

$$\gamma = k - 1 = 6 - 1 = 5. \quad (5.1.7)$$

Порівняння розрахункового $\chi_{розр}^2$ з табличним критичним $\chi_{кр}^2$ для 5 % значимості ($\alpha = 0,05$) дозволяє підтвердити експертів узгодженими. З [7]: $\chi_{кр}^2 = 11,07$. Так як $\chi_{розр}^2 > \chi_{кр}^2$, $36,05 > 11,07$.

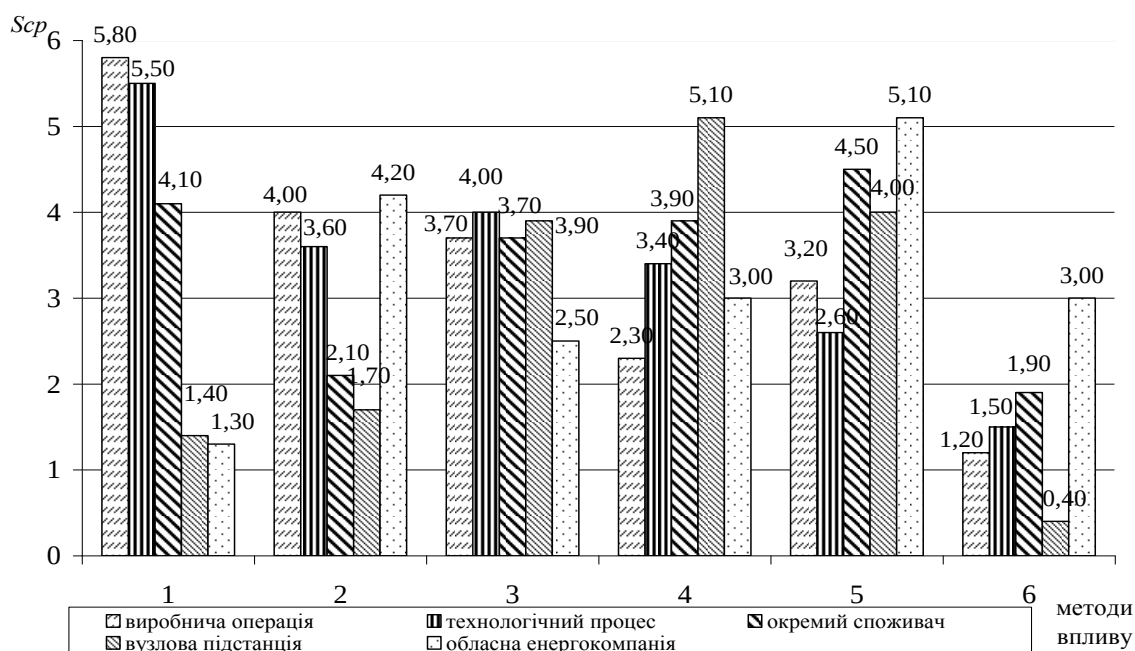


Рисунок 5.1.1 – Ранжування для I-V рівня (1 – ТТМ, 2 – НМ, 3 – ОМ, 4 – АМ, 5 – ЕМ, 6 – ІПМ)

Таблиця 5.1.6 – Показники ранжування методів

№ з/п	Назва рівня	Коефіцієнт Пірсона $\chi^2_{розр}$	Коефіцієнт конкордації W	Методи впливу у порядку значимості
1	Виробнича операція з електроустаткуванням	36,05	0,7209	1. ТТМ; 2. НМ; 3. ОМ; 4. ЕМ; 5. АМ; 6. ІПМ
2	Технологічний процес	26,47	0,5294	1. ТТМ; 2. ОМ; 3. НМ; 4. АМ; 5. ЕМ; 6. ІПМ
3	Окремий споживач з комерційним обліком електричної енергії	17,83	0,3566	1. ЕМ; 2. ТТМ; 3. АМ; 4. ОМ; 5. НМ; 6. ІПМ
4	Енергокомпанія	27,86	0,5573	1. ЕМ; 2. АМ; 3. НМ; 4. ІПМ, 5. ОМ; 6. ТТМ
5	Вузлова підстанція	46,12	0,9224	1. АМ; 2. ЕМ; 3. ОМ; 4. НМ; 5. ТТМ; 6. ІПМ

Отже, найбільша узгодженість експертів – на I та IV рівнях, найнижча – на III, думки експертів є узгодженими так, як коефіцієнти Пірсона більші за табличні.

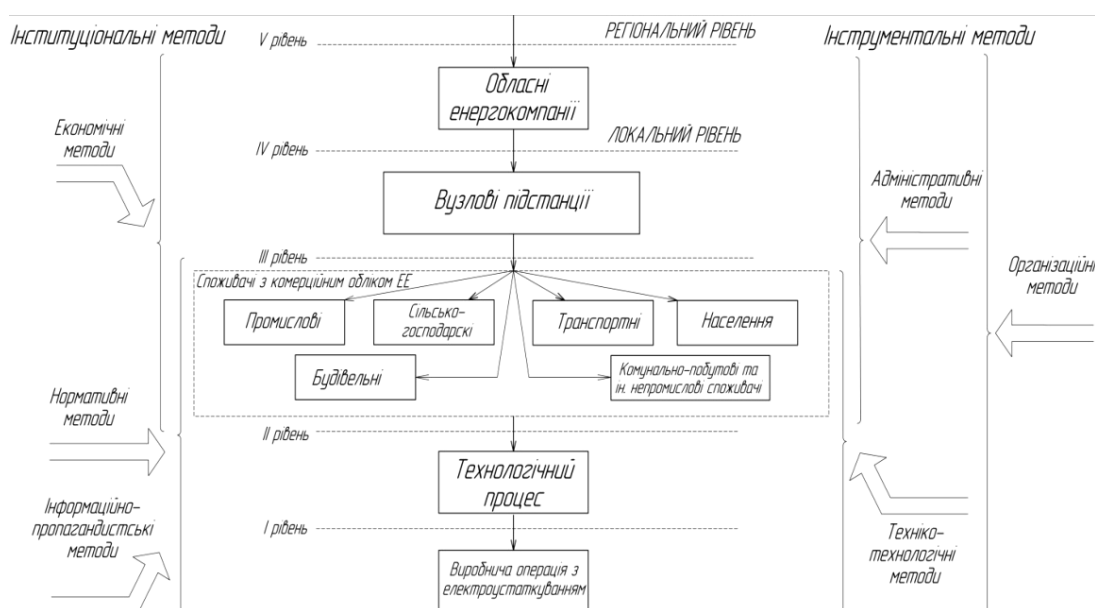


Рисунок 5.1.7 – Пріоритет уживання методів керування ГЕН рівнів електроенергетичної системи

6. ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ КОТЛІВ ОПАЛЮВАННЯ, ЇХ ПОТУЖНОСТІ ТА РЕЖИМУ РОБОТИ

В умовах енергозалежності Кіровоградської області та зростання цін на паливо, актуальним є перехід котелень на альтернативні види палива. Для максимальної ефективності потрібно забезпечити широкий діапазон регулювання потужності котлів за умов змінної якості біопалива.

6.1. Характеристика твердопаливних котлів

За видом використовуваного палива котли поділяють на:

- Газові
- Рідкопаливні
- Твердопаливні
- Електричні
- комбіновані

Газові котли найефективніші - високий ККД, але потребують значних капіталовкладень і залежать від коливань цін на газ.

Тому в умовах області пріоритетним є розгляд альтернативних видів палива, що дозволить підвищити енергонезалежність регіону.

Рідкопаливні котли відрізняються автономністю та високою ефективністю (ККД до 94%). Їх можна легко автоматизувати. Для роботи агрегатів потрібне електроживлення, яке можна забезпечити від окремого джерела. Це підвищує енергонезалежність.

Переваги: високий ККД, автономність. Недоліки: великі капіталовкладення, потреба в ємності та фільтрації палива.

Електрокотли не потребують спецдогляду, але чутливі до перепадів напруги і можуть потребувати резервного живлення.

Переваги твердопаливних котлів (на відміну від інших типів): незалежність від постачання енергоносіїв, екологічність та економічність, що і визначає їх актуальність для області.

Переваги електрокотлів – простота експлуатації, екологічність.

Недоліки – нестабільність напруги, великі поточні витрати.

Комбіновані котли можуть працювати на газі, рідкому чи твердому паливі. Але вони дорожчі за інші типи.

Більшість твердопаливних котлів універсальні щодо виду палива. Їх потужність залежить від теплотворної здатності палива:

антрацит, кокс – номінальна потужність;

буре вугілля – на 10% менше;

деревина, брикети – на 20% менше.

Отже, саме універсальні твердопаливні котли є оптимальним рішенням для використання місцевих видів біопалива та підвищення енергонезалежності Кіровоградської області.

Зі збільшенням вологості чи зниженням калорійності біопалива потужність котлів може зменшуватись на 25-30%. Також підвищуються відкладення й утворення попелу.

Деякі моделі твердопаливних котлів повністю автономні - регулювання температури відбувається за допомогою механічного датчика та заслінки.

Недоліки: висока трудомісткість обслуговування, нижчий ККД ніж в газових котлах.

Класичні твердопаливні та пелетні котли передають тепло теплоносію через стінки камери згоряння.

Піролізні котли розкладають паливо на горючий газ та твердий залишок. Газ можна легко спалювати як в звичайних газових котлах, що полегшує автоматизацію.

Процес вуглецевої газифікації палива в умовах високої температури та відсутності достатнього доступу повітря називається піролізом.

Котли з піролізною технологією спалювання відзначаються дуже високим ККД, який може сягати 85%. Вони забезпечують майже повне згоряння палива та підтримують значний діапазон регулювання потужності. Такі котли також висувають не дуже жорсткі вимоги до димоходів. Водночас, піролізні котли

вимагають використання палива із обмеженою вологістю (не більше 20%) та підтримання досить високої температури котлової води. Ціна піролізних котлів, як правило, у півтора-два рази вища за аналогічні твердопаливні чи пелетні моделі. Поясненням даної різниці вартості може бути значно вищий період роботи піролізних котлів на одному завантаженні палива (в декілька разів довший за робочий цикл звичайних дров'яних і вугільних котлів).

Пелетні котли належать до твердопаливних опалювальних пристроїв, що працюють на відновлюваних джерелах енергії, таких як деревина та сільськогосподарські відходи. Це паливо постачається у вигляді брикетів та гранул (пелет). При виробництві паливних пелет та брикетів застосовують сучасні технології подрібнення та пресування органічних матеріалів в однорідну масу. Коефіцієнт корисної дії спеціалізованих пелетних котлів становить 85-97%, що відповідає рівню ефективності газових та рідинних котлів.

За принципом горіння палива пелетні котли поділяють на два типи:

- з пальником об'ємного типу та
- з пальником факельного типу.

ККД котлів першого типу може досягати 95%.

Пальник об'ємного типу конструктивно являє собою циліндр з жароміцної сталі чи чавуну всередині топки котла. Під час роботи пелети з бункера подаються в пальник згори чи знизу. Зовні твердопаливний котел з об'ємним пальником нагадує традиційну конструкцію на рис. 4.1.1. Розпалювання таких котлів може здійснюватися автоматично за допомогою електричного тепловентилятора або вручну.

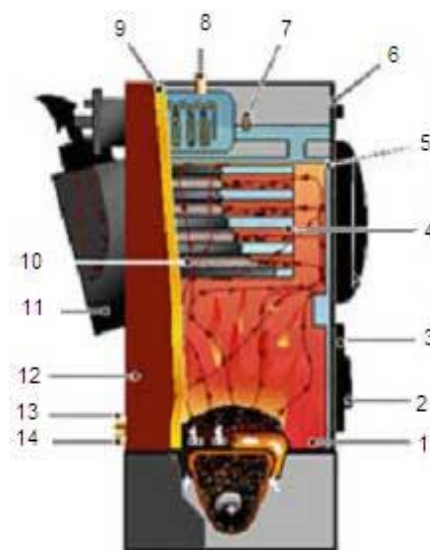


Рис. 6.1.1. - Вигляд котла пелетного з об'ємним пальником

1. Камера топки
2. Вікно подачі повітря
3. Дверцята очисника
4. Теплообмінник
5. Водяний контур
6. Панель керування
7. Місце встановлення датчика температури
8. Штуцер підводу води
9. Корпусна теплоізоляція
10. Газоходи
11. Димохід
12. Корпус котла
13. Штуцер зворотної води
14. Штуцер аварійного зливу

Коефіцієнт корисної дії пелетних котлів з пальниками факельного типу, за оцінками експертів, не перевищує 90,1%. Він трохи нижчий, ніж у котлів з об'ємними пальниками.

Принцип роботи факельних пальників полягає у спалюванні пелет у повітряному потоці, що створюється вентилятором пальника. У зоні горіння пелети швидко перетворюються на розжарене вугілля й згорають, утворюючи полум'я з температурою до 1200°C. Потік гарячих газів спрямовується в конвекційну частину котла, віддає своє тепло теплоносію системи опалення у димогарних трубах і виходить у димохід.

Залишковий попіл зі зони горіння обсипається у зольник, звідки автоматично переміщується в ємність для зберігання, як і у випадку з об'ємними пальниками. Зовні твердопаливний котел з факельним пальником має типовий вигляд на рис. 6.1.2.

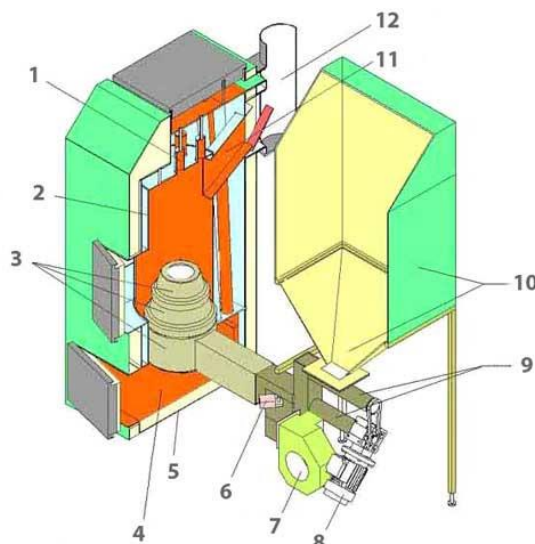


Рис.6.1.2. - Вигляд котла твердопаливного з пальником факельного типу

1. Жарочні труби
2. Контур теплоносія
3. Пелетний пальник
4. Ємність збору золи
5. Теплоізоляція
6. Автоматична заслінка
7. Вентилятор подачі повітря
8. Привід шнеків подачі пелет
9. Шнеки подачі пелет
10. Пелетний бункер
11. Обхідний канал
12. Вихід димових газів

Враховуючи поточні ціни на викопне паливо, теплову енергію та біомасу, впровадження котлів на біомасі для виробництва тепла є економічно вигідним рішенням для промисловості та бюджетних установ.

Беручи до уваги тенденцію зростання тарифів на тепло, можна очікувати, що подальше подорожчання газу сприятиме розповсюдженню котлів на біомасі.

Однією з передумов для цього є значний потенціал біомаси, доступної для енерговиробництва. Найбільші резерви становлять відходи сільгоспвиробництва та біомаса енергетичних культур. Залежно від врожайності основних сільгоспкультур, економічно доцільний потенціал біомаси оцінюється на рівні 25-35 млн.т.у.п./рік, що складає 13-18% споживання первинних палив в Україні.

Термін окупності проектів з упровадження котлів на деревині та соломі становить 2-3 роки для промисловості й бюджетних установ та понад 7-10 років для житлово-комунального господарства.

Актуальність застосування біопалив показує збільшення використання деревини і сільськогосподарських відходів в індустріальному виробництві теплової енергії в Європі і Північній Америці на 15 % щорічно.

6.2. Визначення теплових навантажень і потужності котельні

Питома тепла характеристика будівлі q_{ϕ} , використовується для оцінки її теплотехнічних властивостей. Вона являє собою потік теплоти в ккал/(м³·°C), що втрачається одиницею зовнішнього об'єму будівлі за одиницю часу при різниці температур внутрішнього і зовнішнього повітря в 1°C.

За відсутності детальних розрахунків, величину q_{ϕ} можна приймати за нормативними даними в таблиці 1 Додатку А. Ці значення базуються на сучасних вимогах до теплозахисних властивостей будівельних конструкцій. Тому фактична q_{ϕ} не повинна відрізнятися від нормативної q_0 більш ніж на 5-10%.

Розрахункова продуктивність котельні визначається як сума погодинних витрат тепла на опалення та вентиляцію за максимально холодного режиму, розрахункових витрат на гаряче водопостачання згідно нормативів, а також витрат тепла на технологічні потреби. При цьому враховуються й витрати тепла на власні потреби котельні.

Опалювальні котельні проектуються з водогрійними котлами, котрі безпосередньо приєднуються до теплових мереж.

Робоча теплова потужність котельні зазвичай визначається:

-за продуктивністю, необхідною для забезпечення максимального теплового навантаження споживачів;

-виходячи з умови забезпечення надійної роботи основного обладнання за наявності резервних котлів.

Остаточно приймається більше з двох значень потужності:

$$Q_K = Q_{OV} + Q_{TEH} + Q_{ГВС} + Q_{CH} + \Delta Q, \quad (6.2.1)$$

де Q_{OV} , Q_{TEH} , $Q_{ГВС}$, Q_{CH} – теплонавантаження опалення та вентиляції, навантаження ГВП, технол. навантаження,

ΔQ – втрати при транспорті.

Сума $Q_{OV} + Q_{TEH} + Q_{ГВС}$ наз. тепловою потужністю.

Для закритої системи Теплова потужність опалювальної установки:

$$Q_K = Q_{OV} + Q_{ГВС}^{max}. \quad (6.2.2)$$

де $Q_{ГВС}^{max}$ – максимальна витрата теплоти на ГВП.

Для відкритої системи теплопостачання Теплова потужність котельні:

$$Q_K = Q_{OV} + Q_{ГВС}. \quad (6.2.3)$$

Теплова потужність котельні:

$$Q_K = Q_{OV} + Q_{TEH} + Q_{ГВС} + Q_{CH}. \quad (6.2.4)$$

Допустимі показники ймовірності безвідмовної роботи для:

- джерела теплової енергії $P_{дт} = 0,97$;
- теплової мережі $P_{тм} = 0,9$;
- споживача $P_{ст} = 0,99$;
- системи теплопостачання $P_{ст} = 0,97 \times 0,9 \times 0,99 = 0,86$.

Котельні для роботи на твердому паливі (біологічних та деревних відходах), зобов'язані бути обладнані установками для очищення димових газів, коли:

$$A^P \cdot B \geq 5000, \quad (6.2.5)$$

де A^P - вміст золи,%; B - витрата палива, кг.

Вибір типу та потужності котлів

Кількість працюючих котлів в опалювальний період залежить від необхідної теплової потужності котельні. Максимальна ефективність котла досягається за номінального навантаження. Отже, потужність і число котлів потрібно підбирати так, щоб у різних режимах вони працювали з навантаженням близьким до номінального.

Число працюючих котлів визначається виходячи з припустимого зниження теплової потужності котельні в режимі найхолоднішого місяця за умови виходу з ладу одного з агрегатів. Це зниження задається у відносних одиницях.

Тоді кількість робочих котлів дорівнює:

одиниці, якщо припустиме зниження потужності перевищує 50%;

двом, якщо припустиме зниження знаходиться в межах від 20 до 50%;

трьом і більше, якщо припустиме зниження менше 20%.

$$\alpha = Q_{\text{нхм}} / Q_{\text{мр}}, \quad (6.2.6)$$

де $Q_{\text{нхм}}$ – мінімально допустима потужність котельні; $Q_{\text{мр}} = zQ_{\text{ка}}$ – максимальна теплова потужність, z – число котлів.

Число встановлюваних котлів визначається з умови:

$$(z-1)Q_{\text{ка}} = Q_{\text{нхм}},$$

звідки:

$$z = \frac{1}{1-\alpha}. \quad (6.2.7)$$

В парових та водогрійних котельнях, встановлюють 3-4 котла, що відповідає $\alpha = 0,67$ і $\alpha = 0,75$.

6.3 Технічні та біологічні властивості біопалив

Сучасні технології виробництва деревних, рослинних чи торф'яних біопалив базуються на подрібненні сировини та наступному пресуванні під

високим тиском з утворенням пелет або брикетів. Біомасу для цього можна отримувати не лише з деревних залишків, але й з рослинних решток соняшнику, соломи, торфу чи водоростей.

Одним із різновидів біопалив є деревні пелети - гранули з подрібнених відходів лісопереробки та сільського господарства. Пелети мають низку переваг перед іншими видами біопалива:

Вища теплотворна здатність порівняно з тріскою чи непресованою біомасою;

Менші витрати на обладнання котелень потужністю до 2 МВт;

Можливість зменшення об'ємів складів для зберігання щонайменше удвічі;

Здатність зберігатися поблизу житлових приміщень завдяки біологічній неактивності;

Менша схильність до самозаймання внаслідок відсутності пилу та спор.

За енергетичними характеристиками пелети конкурують з природним газом, а за екологічністю перевершують усі види палива. Вони є альтернативою вугіллю та нафті, оскільки мають подібну теплотворну здатність, проте викиди CO_2 в 20-50 разів менше, а золи - в 10-20 разів.

Найбільш поширені види сировини для виробництва твердого біопалива:

- Відходи лісозаготівлі та деревообробки
- Сільськогосподарські відходи:
- Лушпиння насіння соняшнику, гречки тощо
- Солома, очерет
- Тваринницькі відходи
- Торф
- Тверді побутові відходи
- Осад стічних вод.

Виготовлення пелет відбувається без хімічних добавок, лише під впливом високого тиску. Пелети з сільгоспвідходів мають вищу зольність (до 7% з

лушпиння, до 15% з торфу) ніж у деревних пелет (0,3-3%). Тому їх застосування в малих котлах є небажаним.

Пелети мають форму циліндрів діаметром до 25 мм, найчастіше 6-10 мм. Така форма забезпечує сипкість і дозволяє автоматизувати подачу в котельнях.



Рис.6.3.1. - Пелети з дерева



Рис. 6.3.2. - Пелети з лузги соняшника



Рис. 6.3.3. - Пелети з торфу

В Україні відсутній власний стандарт на пелети, тому виробники орієнтуються на західні стандарти. Деякі з них також включають вимоги до виробництва, зберігання і транспортування пелет.

Діють національні стандарти різних країн, зокрема:

Австрія - ONORM M 7135 (класифікація за типом сировини);

Великобританія - The British BioGen Code of Practice (правила виробництва);

Німеччина - DIN 51731 (обмеження розмірів пелет);

Швеція - SS 187120 (поділ за якістю на 3 групи);

США - The PFI (вимоги Асоціації пелетної промисловості).

З 2010 року в Європі діють стандарти ENplus (побутові пелети) та EN-B (промислові пелети). Вони визначають технічні вимоги до розмірів, вологості, зольності, теплотворної здатності та інших параметрів пелет.

В таблиці 6.3.1. приведені технічні вимоги до пелет в європейських стандартах.

Таблиця 6.3.1. Технічні характеристики пелет за стандартами ЄС

Параметри	O-Norm M7	DIN 51731	DINplus	SS187120
	Австрія	Германія	Германія	Швеція
Діаметр (мм)	4-10	4-10	не нормується	не нормується
Довжина (мм)	< 5*d	< 50	< 5*d	< 5*d
Щільність (кг/дм ³)	> 1,12	> 1,0-1,4	> 1,12	Нет
Вологість (%)	< 10	< 12	< 10	< 10
Насипна маса (кг/м ³)	650	650	650	650
Зольність (%)	< 0,5	< 1,5	< 0,5	< 1,5
Теплота сгор. (МДж/кг)	> 18	17,5-19,5	> 18	> 18
Вміст сірки (%)	< 0,04	< 0,08	< 0,04	< 0,08
Вміст азоту (%)	< 0,3	< 0,3	< 0,3	не нормується
Вміст хлору (%)	< 0,02	< 0,03	< 0,02	< 0,03
Закреплювач, зв'язуюча речовина (%)	< 2	не нормується	< 2	не нормується

Основними експлуатаційними параметрами пелет є:

-Зольність

-Щільність

-Стиранність.

Відповідно до європейських стандартів, вміст золи в гранулах має бути менше 1,5%. Питома щільність якісних пелет становить 1-1,4 кг/дм³. Насипна щільність (відношення маси до об'єму) якісних пелет не менше 650 кг/м³.

Паливні брикети

Деревні паливні брикети виготовляються без хімічних добавок, лише з натуральних відходів деревини. Зв'язуючою речовиною слугує лігнін. Виробництво відбувається за високого тиску та температури, що знищує бактеріальну флору й запобігає гниттю.

Під час пресування поверхня брикетів набуває водонепроникності. При спалюванні утворюється лише 0,5-1% золи, яку можна використовувати як добриво.

Сировиною слугує тирса деревини, лушпиння насіння, сільгоспвідходи. Вимоги до сировини та характеристики готових брикетів стандартизовані в таблиці 6.3.2.

Таблиця 6.3.2. Характеристика вихідної сировини та брикетів

Сировина	Характеристики сировини			Характеристики брикету
	Насипна маса, кг/м ³	Фракція, мм	Волога, %	Щільність, кг/м ³
Лузга соняшника	100	6-10	4-9	1150
Лушпиння соняшника	260	2-5	6-9	1090
Рисова лузга	125	2-6	5-12	1010
Гречана лузга	160	2-5	5-12	1030
Тирса соснова	125	2-5	6-8	1150
Тирса дубова	270	2-5	6-12	1250

Теплотворна здатність деревних брикетів становить 4,5-5 кВт/кг, що у 1,5 рази вище ніж у дров та практично дорівнює вугіллю. Тобто 1 кг брикетів забезпечує обігрів будинку площею 50 м² протягом години.

При спалюванні 1000 кг брикетів виділяється стільки ж тепла, як від:

- 1600 кг дров;
- 478 м3 газу;
- 1000 кг вугілля.

Брикети бувають у формі цеглини, циліндра, шестигранника з отвором чи без нього. Існують такі основні типи:

Брикети RUF - у формі цеглини, вироблені на гідравлічних пресах. Брикети NESTRO - циліндричної форми, отримані шляхом екструзії. Брикети Pini&Kaу - шестигранні, з отвором всередині. Мають найкращі експлуатаційні характеристики.



Рис. 6.3.4. - Брикет типу RUF



Рис. 6.3.5. - Брикет типу NESTRO



Рис. 6.3.6. - Брикет типу Pini&Kaу

Брикети NESTRO виробляються на пресах високого тиску у формі циліндрів. Переваги - простота виробництва, низька собівартість. Недолік - низька вологостійкість.

Брикети Pini&Kaу мають форму багатогранника з отвором всередині. Виготовляються з використанням високого тиску і температури. Переваги -

міцність, вологостійкість. Недоліки - складність виробництва, високі вимоги до персоналу та енергоспоживання.

Основна характеристика, що визначає якість брикетів - щільність. Чим вища щільність, тим кращі механічні властивості та вища теплотворна здатність. Наприклад:

щільність 650-750 кг/м³ -> 12-14 МДж/кг

щільність 1200-1300 кг/м³ -> 25-31 МДж/кг

Якість брикетів також залежить від вологості сировини. Оптимальна вологість для формування якісних брикетів становить 4-10%. Критична вологість 10-15%.

6.4. Енергетичний потенціал використання біопалива

Щорічний теоретичний потенціал біомаси АПК України становить близько 45 млн. тонн у. п., економічно доцільний – 25 млн. тонн у. п., а технічно досяжний – 32 млн тонн у.п. (див. табл. 6.3.3.).

Таблиця 6.3.3. Річний потенціал енергетичної біомаси АПК України

Вид біомаси	Енергетичний потенціал, млн. т у.п.		
	теоретичний	економічний	технічний
Солома зернових культур	10,39	1,34	5,22
Відходи кукурудзи і соняшнику	9,97	5,65	6,85
Солома ріпаку	1,65	1,15	1,15
Енергетичні культури – вільха, верба, тополя, й інші	14,6	23,8	32,5

Сільськогосподарські відходи як біопаливо мають низку характеристик, що відрізняють їх від традиційних видів палива. Зокрема, фізичні параметри, такі як щільність, розмір часток чи площа поверхні, можна змінювати шляхом подрібнення та пресування. Водночас основні паливно-технологічні показники залишаються постійними.

Альтернативою деревині для виробництва паливних пелет може слугувати біомаса із сільськогосподарських решток - солома зернових, рису, кукурудзи чи лушпиння насіння. Такі відходи є потенційним джерелом

біопалива для сільської місцевості, особливо в регіонах з невеликими лісовими масивами. Це зумовлено кількома чинниками:

Низькою вартістю соломи як відновлюваного ресурсу.

Досить високою енергетичною цінністю сільгоспвідходів.

Калорійність соломи залежить насамперед від вмісту води та хімічного складу (рис. 6.3.7.), який варіює залежно від виду соломи і умов вирощування рослин.

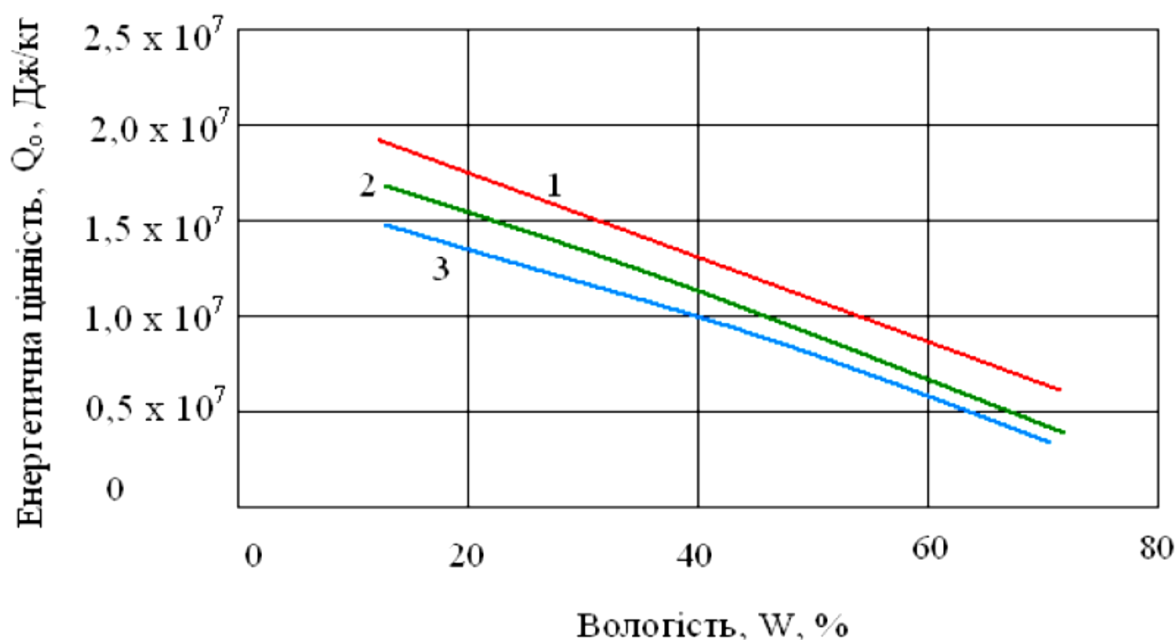


Рис. 6.3.7. - Вплив вологості на енергетичну цінність біопалива Q_o :

1 – хвойне дерево; 2 – листяне дерево; 3 – солома

Солома як біопаливо має певні особливості: Високий вміст хлору та азоту, що спричиняє підвищені викиди оксидів азоту при згорянні. Наявність кремнію та калію, які сприяють утворенню нагару в топках котлів.

Оптимальна вологість для енергетичного використання - 10-20%. Вища вологість знижує теплотворну здатність. Теплота згорання соломи становить 17-18 МДж/кг, що порівняно з деревиною.

Теплотворна здатність є ключовою характеристикою біомаси як палива (табл.6.3.4). Визначається багатьма чинниками, зокрема вологістю. Отже,

контроль вологості, складу соломи та оптимізація умов згоряння є важливими при використанні її для енергетичних потреб.

Таблиця 6.3.4. Середня теплотворна здатність енергетичної сировини

Назва енергетичної сировини	Теплотворна здатність, МДж/кг
Солома зернових культур	10,5
Стебла кукурудзи	12,5
Гілки плодових дерев	10,5
Стебла соняшника	12,5
Виноградна лоза	14,2

У таблиці 6.3.5 наведено теплотворну здатність деревини залежно від вологості.

Таблиця. 6.3.5. Залежність теплотворної здатності біопалива з деревини від її вологості [3]

Вологість, %	Теплотворна здатність дерева, МДж/м ³					
	бук, дуб	верба	модрина	береза	ялина	вільха
0	10,83	6,65	9,69	8,74	7,60	7,98
15	10,59	6,50	9,47	8,55	7,43	7,80
20	10,49	6,44	9,38	8,46	7,36	7,73
25	10,37	6,37	9,28	8,37	7,28	7,64
30	10,24	6,29	9,17	8,27	7,19	7,55
35	10,09	6,20	9,03	8,15	7,08	7,44
40	9,92	6,09	8,87	8,00	6,96	7,31
45	9,71	5,96	8,69	7,84	6,81	7,16
50	9,46	5,81	8,47	7,64	6,64	6,97
55	9,16	5,62	8,19	7,39	6,43	6,75
60	8,78	5,39	7,85	7,08	6,16	6,47

6.5. Аналіз параметрів, що впливають на ефективність котла

У системах центрального опалення температурний режим регулюється шляхом зміни температури нагрітої води. У найхолодніший період року котел

має нагрівати теплоносії до 95°C . Температура зворотної води, що повертається в котел, становить 70°C . З підвищенням зовнішньої температури температура води знижується відповідно до графіка опалення.

Крім того, через нерівномірне теплове навантаження котла коливається кількість спалюваного палива, об'єм та склад димових газів, а також ефективність роботи. Зі збільшенням теплопродуктивності зростають витрати тепла з відхідними газами через підвищення їх температури. Це знижує ККД котла.

Вплив теплових навантажень котла на величину теплових втрат та ККД показаний на рисунку 6.6.3.

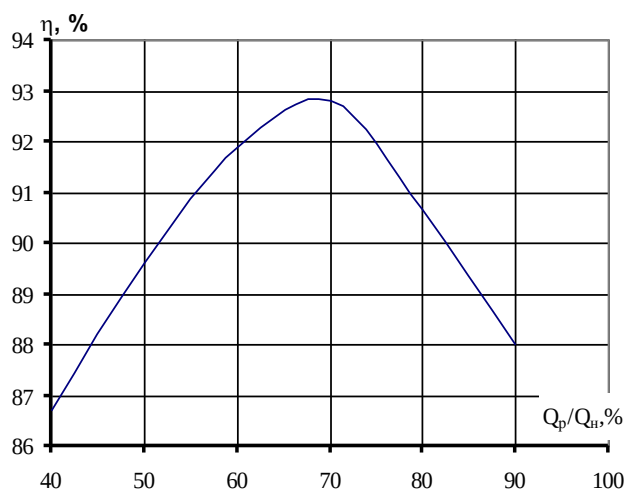


Рис. 6.4.3. - Графік залежності ККД котла від його навантаження

Експлуатація котлів при теплових навантаженнях нижче 30% номінальної потужності призводить до зростання тепловтрат у навколишнє середовище та зниження ККД, особливо на початку та наприкінці опалювального сезону.

За мінімальних навантажень основна частка втрат припадає саме на навколишнє середовище. Зі збільшенням навантаження ці втрати зменшуються, але зростають інші складові теплових витрат - з відхідними газами, через неповне згоряння тощо. Вони зростають швидше, ніж знижуються тепловіддача у навколишнє середовище, тому ККД котла знижується.

Наприклад, за температури зовнішнього повітря 5°C температура подавальної води в систему має становити близько 43°C , а зворотної - $35-37^{\circ}\text{C}$.

За таких умов охолодження газів нижче температури конденсації (точки роси) призводить до конденсації вологи на стінках котла та їх корозії. Для запобігання цих процесів рекомендується підтримувати температуру зворотної води вищою за точку роси на 5°C.

Чим нижчою є точка роси продуктів згоряння, тим холоднішу зворотну воду можна подавати в котел без ризику конденсації вологи на його поверхнях.

Присутність сірки у складі біопалива підвищує температуру точки роси приблизно на 70-100°C порівняно з безсірчистим паливом. Це практично унеможлиблює експлуатацію опалювальних котлів без запотівання та корозії через утворення сірчаної кислоти.

Для запобігання корозії сталевих котлів необхідно або підігрівати зворотну воду в теплообмінниках, або домішувати гарячу воду для підвищення її температури приблизно на 5°C вище за точку роси.

Також на ефективність котлів впливає якість гранул, яку можна оцінити за складом продуктів згоряння.

Отже, вміст сірки у біопаливі істотно ускладнює експлуатацію котелень через конденсацію та корозію, тому потребує додаткових заходів.

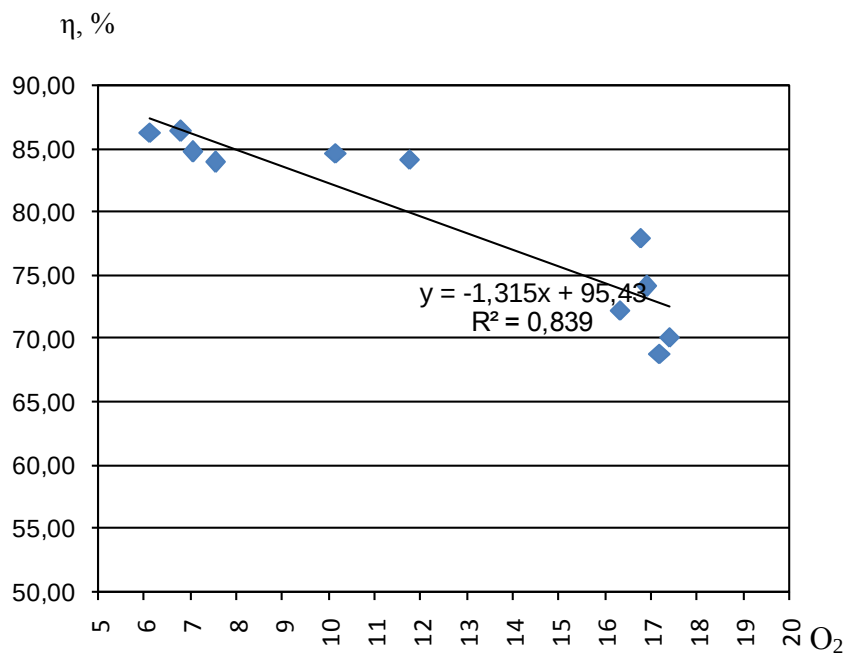


Рис. 6.4.4. - ККД котла від змісту кисню у димових газах

Отримані експериментальні дані та графічні залежності на рисунку 6.6.4 демонструють кореляційний зв'язок між вмістом кисню, викидами вуглекислого газу та коефіцієнтом корисної дії котла. Ці результати добре узгоджуються з лінійною моделлю.

Загалом, температура димових газів безпосередньо залежить від температури усередині топки котла. На рисунку 6.4.5 продемонстрована графічна залежність коефіцієнту корисної дії від температури. Вона вказує на лінійний зв'язок між температурою відхідних газів та ККД.

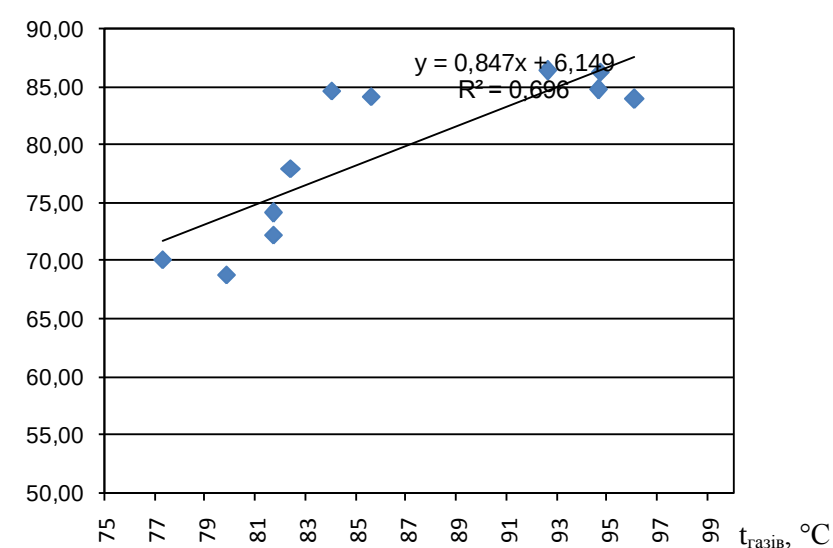


Рис.6.4.5. - Залежність ККД і температури відхідних газів

Існує безпосередній вплив нижчої теплотворної здатності біопалива на максимальну температуру всередині топки котла. Водночас складно знайти однозначний кореляційний зв'язок цієї характеристики гранул з ККД.

В таблиці 6.4.1 наведено усереднені значення нижчої теплотворної здатності різних видів біопалива. Видно, що цей показник варіює в широких межах залежно від типу вихідної біомаси.

Отже, теплотворна здатність та зольність є важливими характеристиками, які впливають на ефективне використання біопалива в енергетиці.

Таблиця 6.4.1. Характеристики біопалив

№	Вид палива	Робоче паливо			Зольність А _р , %
		Вологість W _р , %	Нижча теплота згорання Q _н ^р		
			МДж/кг	Ккал/кг	
1	2	3	4	5	6
1	Дрова	40-30	10,22-12,2	2440-2910	1,3
2	Фанерні, ДСП відходи	15-5	15-17	3570-4040	0,8
4	Тирса і стружки	50-30	8,1-12,4	1935-2960	0,5
5	Деревні гранули	10	19	4500	1
6	Деревні брикети	10	17	4040	1
7	Тріска	60-40	6-9	1400-2150	1,3
8	Буре вугілля	50	7,67-9,2	1830-2200	9-12
9	Стебла соняха і кукур.	10	14,65	3500	
10	Лушпиння соняха	15	15,43	3685	

Існують дані про підвищення ефективності при використанні багатокотлових двоконтурних систем опалення порівняно з традиційними однокотловими. Суть такої системи полягає у розподілі загального навантаження між кількома котлами та наявності двох контурів - високотемпературного для живлення опалювальної системи та низькотемпературного для підігріву гарячого водопостачання.

Переваги багатокотлових установок:

Можливість почергової роботи котлів, оптимізація навантажень;

Краща адаптація потужності до поточних теплових потреб;

Підвищення загального ККД системи.

Дослідження, представлені на графіку 6.1.6, демонструють зростання ефективності таких установок порівняно з однокотловими при змінних навантаженнях.

У багатокотлових системах спостерігається падіння ККД при навантаженнях 25%, 50% та 75% від максимального. Це пов'язано з почерговим увімкненням додаткових котлів та перерозподілом загального навантаження.

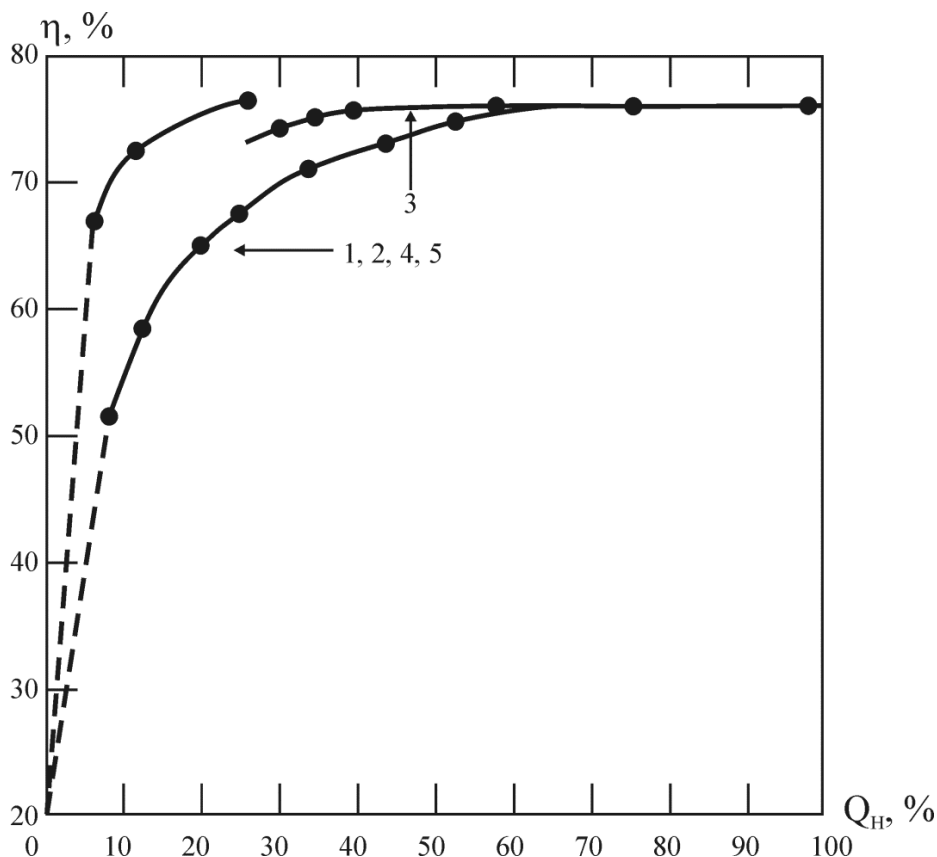


Рис. 6.1.6. - Ефективність роботи системи опалення від теплового навантаження: 1 , 2 , 4, 5 - характеристики традиційних котлових схем, 3 – багатокотлової двоконтурної системи

Найвищі показники ефективності такої системи демонструються у перехідні періоди опалювального сезону, коли теплове навантаження становить 5-65% від номінальної продуктивності котельні.

У багатокотлових системах спостерігається падіння ККД при навантаженнях 25%, 50% та 75% від максимального. Це пов'язано з почерговим увімкненням додаткових котлів та перерозподілом загального навантаження.

Найвищі показники ефективності такої системи демонструються у перехідні періоди опалювального сезону, коли теплове навантаження становить 5-65% від номінальної продуктивності котельні.

Отже, реальна сезонна ефективність роботи котла значною мірою залежить від system устрою всієї системи опалення, а не лише від

характеристик самого котла. Також важливим є відповідність потужності котельного обладнання тепловим витратам будівлі.

Для оптимізації роботи багатокотлової установки необхідно підібрати котли з коефіцієнтами модуляції, що дозволяють ефективно працювати у широкому діапазоні навантажень.

ВИСНОВКИ

1. За даними метеостанцій Кіровоградської області, середньорічне надходження сонячної енергії становить близько 1200 кВт·год/м². Найбільша інсоляція спостерігається у Бобринецькому (1500 кВт·год/м²), Устинівському та Компаніївському районах.

2. Використання сонячних колекторів для підігріву води є найбільш раціональним застосуванням сонячної енергії в регіоні.

3. За показниками вітрового потенціалу, найсприятливіші умови для вітроенергетики спостерігаються у Кіровоградському, Маловисківському та Новомиргородському районах, для яких енергія вітру становить понад 3,5 кВт·год/м².

4. Протифазний характер сезонних коливань вітрової та сонячної енергії створює передумови для ефективного використання гібридних вітро-сонячних систем.

5. Розроблено та досліджено за допомогою математичного моделювання комбіновану енергосистему з альтернативними джерелами – фотоелектричної батареї, вітроелектричного агрегату, дизель-генератора та акумуляторної батареї. Проведено імітаційне моделювання комбінованої енергосистеми. Це дає змогу обґрунтувати оптимальні режими роботи та підвищити ефективність таких систем.

6. За картою розподілу біоенергетичних потенціалів найбільш продуктивними культурами в Кіровоградській області є пшениця, кукурудза, соняшник, ячмінь та жито. При цьому на пшеницю і кукурудзу припадає 50-80% загального енергопотенціалу.

7. З урахуванням витрат біомаси на тваринництво, енергопродуктивність кукурудзи перевищує пшениці на 10%. Найвищий потенціал спостерігається у Знам'янському, Ульяновському та Олександрійському районах.

8. За картою розподілу потенціалу ґрунтового тепла найсприятливіші умови для його використання існують в районах з вологішими ґрунтами – Ульяновському, Гайворонському, Олександрійському. Найнижчий потенціал у Новомиргородському районі.

9. На першому етапі оптимізації енергоспоживання в Кіровоградській області доцільно застосувати адміністративно-організаційні та інформаційно-пропагандистські методи. Визначено пріоритети використання інституціональних та інструментальних методів на кожному рівні енергосистеми.

10. Комплексне застосування методів дозволяє суттєво підвищити ефективність управління режимами споживання електроенергії. Розроблена методика оптимізації дає змогу зменшити нерівномірність добового графіка до 17% та скоротити втрати майже на 3 тис. кВт·год.

11. Виявлено вузький діапазон регулювання режимів роботи пелетних котелень. Запропоновано комбінований метод, що поєднує дискретне регулювання кількістю котлів та плавне регулювання процесом спалювання. Це дозволяє розширити діапазон регулювання потужності та підвищити загальний ККД установки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>
2. Twidell J. Renewable energy resources / J. Twidell, A. Wair. — 2nd ed. — Taylor & Francis, 2016.— 626 p.
3. Державна служба статистики України. Доступ до публічної інформації. / Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/metaopus/2021>.
4. Ключ С.В. «Визначення енергетичного потенціалу соломи і рослинних відходів за період незалежності України Ін-т відновлюваної енергетики України» // Відновлювана енергетика, 2012, №3, - 30 с.
5. Плешков П.Г. «Підвищення енергоефективності сільськогосподарського виробництва на основі комплексної електроенергетичної системи» / Плешков П.Г.— Кропивницький: КНТУ.- 2010. – 24 с.
6. Нормативи ґрунтозахисних контурно-меліоративних систем землеробства. – за ред. О.Г. Тараріко, М.Г. Лобаса, - К., 1998 – 158 с.
8. Агрохімічна оцінка ґрунтів Кіровоградської області /В.О. Матвеева, О.Ф. Гелевера - Вісник ХНАУ № 4, Агрохімія, 2018 – 45 с.
9. Мостіпан М.І. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з рослинництва з програмуванням урожаю. - КНТУ, 2011 – 58 с.
10. Тараріко О.Г., Лобаса М.Г. Нормативи ґрунтозахисних контурно-меліоративних систем землеробства –К.:УААН, 1998. – 103 с.
11. Дослідження енергетичного потенціалу регіональних альтернативних джерел для оптимізації паливно-енергетичних балансів / [Плешков П.Г., Кубкін М.В., Серебренніков С.В. та ін.] – Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенка. Техн. науки. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» – Харків: ХНТУСГ, 2013. – Вип. 141 – С. 54-57.
12. Зінченко О.І. Кормовиробництво. Навчальне видання. – 2-ге вид., доп. і перероб. – К.: Вища освіта, 2015. – 448 с.
13. Петрова К.Г. Вирівнювання режиму електроспоживання сільськогосподарських споживачів у часі / К.Г. Петрова, С.В. Серебренніков //

Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П.Василенка. Технічні науки. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2012. – Вип. 130. – С. 25 – 26.

14 Серебренніков С.В. Удосконалення критеріїв пріоритетно-крокового методу регулювання електроспоживання / С.В. Серебренніков, К.Г. Петрова // Електротехніка та електроенергетика. – 2012. – № 1. – С. 65 – 69.

15. Петрова К.Г. Ранжування методів управління режимами електроспоживання за експертною оцінкою [Електронний ресурс] / К.Г. Петрова, С.В. Серебренніков // Енергетика і автоматика: електрон. наук. фак. вид. / Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. – К.: 2013. – № 2(16). – С.1 – 6.– Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/eia_2013_2%2816%29_14.pdf

16. Находов В.Ф. Удосконалення діючої системи нормалізації енергоспоживання на основі контролю і планування витрат електричної енергії / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко // Промислова електроенергетика та електротехніка: ін форм. зб. – 2010. – №6. – С.47-51.

17. Новітні технології біоенергоконверсії: Монографія / Я.Б. Блюм, Г.Г. Плетуха, І.П. Григорюк, В.О. Дубровін, А.І.Ємець, Г.М. Забарний та інші – К: «Аграр Медіа Груп», 2010. – 326 с.

18. Теплотворність деревини. <http://tehnopost.kiev.ua/ua/15-teplotvornst-derevini-drova.html>.

19. Аналітична записка БАУ «Перспективи виробництва теплової енергії з біомаси в Україні» www.uabio.org/activity/uabio-analytics.

20. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств: навч. посіб. / [О.І. Соловей, В.П. Розен, П.Г. Плєшков, С.В. Серебренніков, В.Ф. Ткаченко, К.Г. Петрова]; М-во освіти і науки України, Кіров. нац. техн. ун-т. – Черкаси: видавець Чабаненко Ю., 2015. – 316 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця 1.1.1 — Географічні дані населених пунктів Кіровоградської та приграничних областей, в яких розміщені метеостанції

№ метеостанції [3]	Населений пункт	Широта (північна)	Довгота (східна)	Висота над рівнем моря, м
66	Кобеляки	49° 08'	34° 13'	80
86	Чигирин	49° 05'	32° 39'	80
87	Звенигородка	49° 04'	30° 58'	160
89	Умань	48° 45'	30° 13'	210
103	Гайсин	48° 48'	29° 23'	195
111	Новомиргород	48° 45'	31° 40'	150
112	Знам'янка	48° 43'	32° 40'	200
113	Кропивницький	48° 30'	32° 16'	125
114	Гайворон	48° 20'	29° 50'	150
115	Помічна	48° 14'	31° 24'	210
116	Долинська	48° 07'	32° 46'	180
117	Бобринець	48° 03'	32° 10'	150
119	Верхньодніпровськ	48° 39'	34° 20'	100
122	Комісарівка	48° 27'	33° 48'	115
127	Кривий Ріг	47° 55'	33° 23'	100
152	Любашівка	47° 50'	30° 16'	180
175	Вознесенськ	47° 34'	31° 20'	25
176	Баштанка	47° 24'	32° 26'	80

Таблиця 1.1.2 — Середня добова сумарна радіація на горизонтальну поверхню (кВт·год/м²) для метеостанцій Кіровоградської області

Місяць	Новомиргород	Знам'янка	Кропивницький	Гайворон	Помічна	Долинська	Бобринець
I	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3
II	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1
III	3,0	3,0	3,0	3,1	3,0	3,0	3,3
IV	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,9
V	5,3	5,5	5,5	5,3	5,3	5,5	6,4
VI	5,4	5,5	5,5	5,5	5,4	5,5	7,2
VII	5,5	5,6	5,6	5,4	5,5	5,6	7,4
VIII	4,9	4,9	4,9	4,8	4,9	4,9	6,4
IX	3,5	3,6	3,6	3,4	3,5	3,6	4,7
X	2,2	2,2	2,2	2,1	2,2	2,2	2,9
XI	1,1	1,2	1,2	1,2	1,1	1,2	1,6
XII	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,1
Рік	3,3	3,3	3,3	3,2	3,3	3,3	4,1

Таблиця 1.1.3 — Параметри розподілу Вейбула для населених пунктів Кіровоградської області

Місяць	Новомиргород		Знам'янка		Кропивницький		Гайворон		Помічна		Бобринець	
	c , м/с	k	c , м/с	k	c , м/с	k	c , м/с	k	c , м/с	k	c , м/с	k
I	3,9	1,0	5,0	1,7	5,7	1,5	3,3	1,1	5,0	1,5	5,3	1,7
II	4,3	1,1	5,0	1,7	6,0	1,5	3,8	1,2	5,4	1,6	5,7	1,9
III	4,2	1,0	5,2	1,6	5,9	1,4	3,9	1,3	5,4	1,5	5,5	1,6
IV	3,8	1,0	4,5	1,4	5,1	1,3	3,7	1,3	4,7	1,5	4,8	1,5
V	3,9	1,0	4,4	1,4	5,0	1,4	3,5	1,2	4,8	1,4	4,7	1,5
VI	2,9	1,0	3,8	1,3	4,4	1,3	3,0	1,2	4,1	1,4	4,7	1,5
VII	2,4	0,9	3,4	1,3	3,9	1,3	2,5	1,0	3,7	1,4	4,3	1,5
VIII	2,5	0,8	3,3	1,2	3,9	1,2	2,2	0,9	3,6	1,3	4,1	1,4
IX	2,4	0,8	3,4	1,3	4,2	1,2	2,1	0,9	3,6	1,2	4,0	1,3
X	2,9	0,9	3,9	1,2	4,2	1,2	2,7	0,9	4,1	1,3	4,3	1,3
XI	3,9	1,2	4,6	1,5	5,0	1,4	3,6	1,2	4,9	1,4	4,7	1,5
XII	4,0	1,1	5,1	1,7	5,1	1,5	3,5	1,2	5,1	1,5	5,2	1,7
Рік	3,5	1,0	4,3	1,4	4,8	1,3	3,2	1,1	4,5	1,4	4,7	1,5

Таблиця 1.1.4 — Середня кубічна швидкість вітру $\langle u \rangle$ та питома середньодобова енергія вітрового потоку
 одиничного перерізу E_u для метеостанцій Кіровоградської області

Місяць	Новомиргород		Знам'янка		Кропивницький		Гайворон		Помічна		Бобринець	
	$\langle u \rangle$, м/с	E_u , кВт·год/м ²	$\langle u \rangle$, м/с	E_u , кВт·год/м ²	$\langle u \rangle$, м/с	E_u , кВт·год/м ²	$\langle u \rangle$, м/с	E_u , кВт·год/м ²	$\langle u \rangle$, м/с	E_u , кВт·год/м ²	$\langle u \rangle$, м/с	E_u , кВт·год/м ²
I	6,9	4,8	5,9	2,9	7,3	5,5	5,3	2,2	6,4	3,7	6,4	3,8
II	6,8	4,6	6,1	3,3	7,6	6,3	5,7	2,7	6,7	4,4	6,7	4,3
III	6,9	4,8	6,4	3,7	7,7	6,6	5,4	2,3	6,8	4,5	6,9	4,8
IV	6,5	4,0	5,8	2,8	7,0	4,9	5,4	2,2	5,9	3,0	6,2	3,4
V	6,8	4,6	5,8	2,7	6,6	4,2	5,1	1,9	6,3	3,6	6,1	3,3
VI	5,5	2,3	5,3	2,1	6,0	3,0	4,4	1,3	5,5	2,4	6,2	3,4
VII	5,2	2,1	4,7	1,5	5,4	2,3	4,6	1,4	5,0	1,8	5,9	3,0
VIII	5,9	2,8	4,8	1,6	6,0	3,2	4,4	1,2	5,1	1,9	5,5	2,5
IX	5,6	2,6	4,7	1,5	6,2	3,5	4,2	1,1	5,3	2,2	5,8	2,8
X	6,0	3,1	5,7	2,6	6,1	3,2	5,3	2,2	5,8	2,8	6,3	3,5
XI	6,0	3,3	5,9	3,0	6,6	4,1	5,2	2,0	6,4	3,8	6,1	3,3
XII	6,6	4,2	6,0	3,1	6,5	4,0	5,1	1,9	6,5	4,0	6,2	3,5
Рік	6,4	3,7	5,7	2,7	6,6	4,2	5,3	2,1	6,1	3,2	6,1	3,3
За рік		1350,5		985,5		1533,0		766,5		1168,0		1204,5

Таблиця 1.1.5 — Тривалість енергетичного штилю ($u < 3 \text{ м/с}$)
та енергоефективної швидкості вітру ($u \geq 3 \text{ м/с}$)

Населений пункт	$T_{\text{еш}}$		$T_{\text{еф}}$	
	год.	діб	год	діб
Новомиргород	5093	212	3667	153
Знам'янка	3945	164	4815	201
Кропивницький	3600	150	5160	215
Гайворон	5310	221	3450	144
Помічна	3790	158	4970	207
Долинська	3586	149	5174	216
Бобринець	3625	151	5135	214

Додаток Б

ОХОРОНА ПРАЦІ

Розрахунок заземлення

Захисне **заземлення** – електричне з'єднання з землею неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою внаслідок замкнення на корпус. Призначення захисного заземлення – усунення небезпеки враження струмом.

Область застосування захисного заземлення:

- мережі напругою до 1000 В змінного струму – трифазні трипровідні з ізолюваною нейтраллю, однофазні двопровідні, ізольовані від землі;
- мережі напругою вище 1000 В змінного і постійного струму з будь-яким режимом нейтралі.

Визначаємо опір заземлення R_z^H .

Контур заземлення виконаний з вертикальних заземлювачів, розміщених в ряд. В якості вертикального заземлювача застосовується стержень круглого перерізу діаметром $d = 6$ см і довжиною $l = 3$ м. Стержень знаходиться на поверхні землі: ґрунт двошаровий; висота верхнього шару $h_1 = 0,5$ м, верхній шар чорнозем; нижній шар пісок. Стержні з'єднанні прутком $b = 10$ мм; глибина занурення прута від поверхні ґрунту $h_2 = 0,6$ м; відстань між вертикальними заземлювачами $a = 5$ м; опір природного заземлення 15 Ом.

Розрахунок зводиться до визначення кількості вертикальних заземлювачів і довжини з'єднувальної прута.

Якщо сумарна потужність струмоприймачів більша 100 кВА, то R_z повин бути не більше 4 Ом.

1. Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту:

$$\rho_p = \rho_{екв} \cdot \psi = 222,22 \cdot 2,4 = 533,328 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

де: $\rho_{екв}$ - еквівалентне значення питомого опору ґрунту;

ψ_1 – кліматичний коефіцієнт.

$$\rho_{екв} = \frac{L}{\frac{\Delta h_1}{\rho_1} + \frac{\Delta h_2}{\rho_2}} = \frac{3}{\frac{0,5}{500} + \frac{2,5}{200}} = 533,328 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

де: ρ_1, ρ_2 - табличні значення: для чорнозему $\rho_1 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$; для піску $\rho_2 = 500 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ з табл. 10.2 [21]; h_1 - висота шару чорнозему; h_2 - піску.

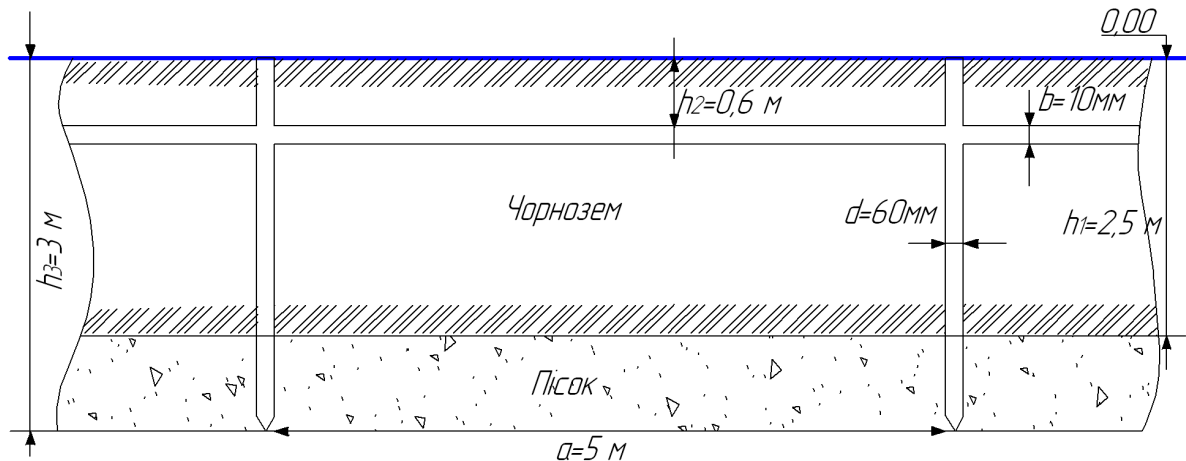


Рис.11.1 Схема прокладки заземлення

2. Опір штучного заземлювача мусить бути:

$$R_{ш} = \frac{R_{п} \cdot R_3}{R_{п} - R_3} = \frac{15 \cdot 4}{15 - 4} = 5,4545 \text{ Ом},$$

де $R_{п}$ – опір природного заземлювача.

3. Опір одного вертикального заземлювача:

$$R_{ст.од} = \frac{\rho_{екв}}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln \frac{4 \cdot L}{d} = \frac{533,328}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \cdot \ln \frac{4 \cdot 3}{0,06} = 149,986 \text{ Ом}$$

де: L - довжина вертикального стержня; d - діаметр стержня.

Приймаємо електроди, прокладені в ряд згідно плану і знаходимо орієнтовну кількість заземлювачів:

$$n_0 = \frac{R_{\text{ст.од}}}{R_{\text{ш}} \cdot \eta_0} = \frac{149,986}{5,4545 \cdot 0,7} = 39,28 \approx 40 \text{ шт.}$$

де: η_0 – коефіцієнт використання ряду заземлювачів, $a/l=5/3=1,6$, $\eta=0,7$ по таблиці 10.4 [21].

Довжина горизонтальної з'єднувальної полоси:

$$L_{\Pi} = a \cdot (n_0 - 1) = 5 \cdot (40 - 1) = 195 \text{ м.}$$

4. Опір з'єднувальної полоси

$$R_{\Pi} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L_{\Pi}} \cdot \ln \frac{L_{\Pi}^2}{b \cdot H} = \frac{200}{2 \cdot 3,14 \cdot 195} \cdot \ln \frac{195^2}{0,01 \cdot 0,6} = 2,558 \text{ Ом.}$$

З урахуванням коефіцієнта використання:

$$R_{\text{пв}} = \frac{R_{\Pi}}{\eta_n} = \frac{2,558}{0,7} = 3,654 \text{ Ом ,}$$

де: η_n - коефіцієнт використання з'єднувального прута.

5. Необхідний опір вертикальних заземлювачів з урахуванням опору з'єднувального прута:

$$R_{\text{ст}} = \frac{R_{\text{пв}} \cdot R_3}{R_{\text{пв}} - R_3} = \frac{3,654 \cdot 3}{3,654 - 3} = 16,75 \text{ Ом.}$$

Остаточна кількість заземлювачів:

$$n = \frac{R_{\text{ст.од}}}{R_{\text{ст}} \cdot \eta_0} = \frac{149,986}{16,75 \cdot 0,7} = 12,79 \approx 13 \text{ шт.}$$

Проводимо перевірку опору заземлювача і порівнюємо отримане значення з нормативним:

$$R_3 = \frac{1}{\frac{1}{R_{\text{ст}}} + \frac{1}{R_{\text{пв}}} + \frac{1}{R_{\Pi}}} = \frac{1}{\frac{1}{16,75} + \frac{1}{3,654} + \frac{1}{15}} = 2,49977 \text{ Ом;}$$

$$2,49977 < 4 \text{ Ом,}$$

тобто, даний заземлювач задовольняє умовам вибору.