

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ РЕГІОНАЛЬНИХ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ БАЛАНСІВ

Плешков П. Г., Кубкін М. В., Петрова К. Г., Серебряніков С. В., Солдатенко В. П., Стець П. Г.

Кіровоградський національний технічний університет

Проведено оцінку енергетичних ресурсів Кіровоградської області, визначено пріоритети використання альтернативних джерел енергії для окремих районів, намічено перспективи їх комплексного використання.

**Постановка проблеми.** Постійне підвищення вартості енергоресурсів стимулює споживачів до пошуку енергозберігаючих заходів та можливостей використання енергії, отриманої з АДЕ. Згідно з Енергетичною стратегією [1], заміщення традиційних джерел енергії на АДЕ є одним з пріоритетних напрямів розвитку енергетики України.

Оскільки області України відрізняються за своїми географо-кліматичними умовами, рельєфом, структурою енергоспоживання, то потребує окремого детального дослідження енергоресурсний потенціал кожної, зокрема – використання енергії вітру, сонця, переробки відходів сільськогосподарського виробництва, застосування малих гідроелектростанцій та інших АДЕ.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** За умов переважаючої базової атомної енергетики та обмежених можливостей теплових електростанцій, генеруючі потужності не спроможні в короткостроковому періоді адекватно реагувати на значні коливання попиту в часі. Тому, для оптимізації паливно-енергетичних балансів доцільно здійснювати регулювання режимів електроспоживання [2] із додатковим залученням альтернативних джерел енергії (АДЕ) в пікові зони навантажень енергосистеми. У [3] проведені дослідження енергетичного потенціалу АДЕ України; в [4] наведено приклад комбінованої енергосистеми, здійснено розрахунки вартості енергії при використанні різних комбінацій джерел енергії.

Основним недоліком робіт [3-4] є зосередженість на світових та загальнодержавних тенденціях, натомість, недостатня увага присвячена індивідуальним особливостям окремих регіонів та областей. Так, в [5] наводиться лише попередній аналіз потенціалу області за АДЕ. Таким чином, додаткових досліджень потребує енергоресурсний потенціал регіональних джерел енергії.

**Мета статті.** Дослідження регіонального енергетичного потенціалу для оптимізації паливно-енергетичних балансів промислових та комунально-побутових об'єктів сільської місцевості з використанням альтернативних джерел.

**Основні матеріали дослідження.** Розглянемо особливості електроспоживання в грудні 2012 року на прикладі районів Кіровоградської області (рис. 1).

Видно, що найбільш енергоємними районами є: Кіровоградський (26,1%), Новоукраїнський (10,5%) та Голованівський (10,1%). Переважаюча частина споживачів Кіровоградської області – невеликі аграрні та комунально-побутові підприємства сільської місцевості, що підвищує доцільність використання систем з розподіленою генерацією.

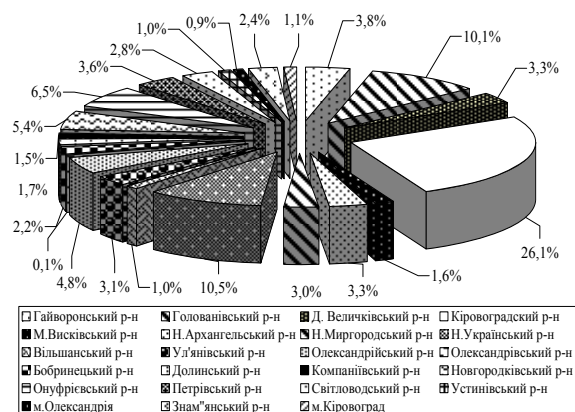


Рисунок 1 – Розподіл обсягів споживання електроенергії по районах Кіровоградської області

Порівняння потенціалів АДЕ (рис. 2) свідчить, що найбільшу частку в енергетичному потенціалі області складає біомаса рослинного походження (72,28%).

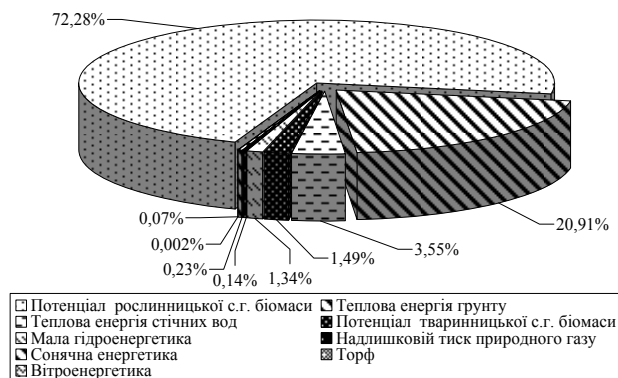


Рисунок 2 – Відсоткова частка видів АДЕ у енергетичному потенціалі області

**Потенціал біомаси.** Земельний фонд області складає 2458 тис. га, з них 83% - орні сільськогосподарські угіддя. В структурі сільгоспугідь крім ріллі, що складає 83%, можна виокремити також: пасовища – 11,1%, сіножаті – 1,2%, насадження багаторічних трав – 1,1%. Загальна лісистість області з урахуванням усіх захисних лісових насаджень – ліси, лісосмуги, парки та інші вкриті лісом площі, складає 183 тис. га (7,4%). Території під водоймами – 3,15%, інші землі (яри, засолені землі тощо) – 1,8%.

Постановою КМУ визначено норми посівних площ для лісостепової зони, до котрої належать північні, східні і центральні райони Кіровоградської області: зернові та бобові культури – 25-95%, технічні культури (у тому числі соняшник) – 5-30%, овочеві культури – 3-5 %, кормові культури та багаторічні трави – 5-9%, чорний пар – 3-5%. Для зони північного степу визначено наступні норми посівних площ: зернові та бобові культури – 45-80%, технічні культури – 10-30%, овочеві культури – 10%, кормові культури та багаторічні трави – 10%.

Враховуючи норми засіву орних земель, площу під посів та енергетичні показники біовідходів можна визначити енергетичні еквіваленти органічних відходів рослинництва.

При оцінці реального потенціалу біомаси необхідно враховувати можливі відхилення наявних площ засіву агрокультур від нормативних, які можуть сягати 30-60%, що пояснюється бажанням фермерів максимізувати прибуток у короткостроковому періоді. До розбіжності між реальними та прогнозованими значеннями маси біосировини можуть призвести й погодні умови, особливо для Кіровоградської області, яка знаходиться у зоні ризикованого землеробства.

З діаграми енергетичного потенціалу біомаси (рис. 3) видно, що найбільший енергетичний потенціал мають соняшник та кукурудза.

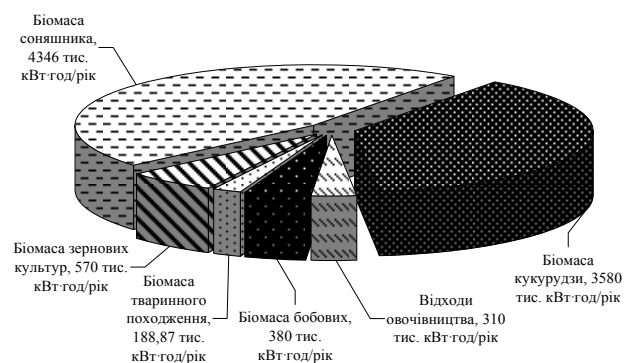


Рисунок 3 – Енергетичний потенціал біомаси

**Потенціал сонячної енергії.** Для встановлення ступеня відмінностей у опроміненості різних районів було проаналізовано результати за даними [6] для крайніх районів області - західного (Гайворонський), східного (Світловодський), південного (Ульянівський), північного (Олександрівський) та центрального (Кіровоградський).

Середньодобове опромінення у перелічених районах ілюструє табл. 1.

За даними табл.1 можна зробити висновок, що практично уся територія області опромінюється в рівній мірі, оскільки річне надходження сонячної радіації становить  $(1054 \pm 50)$  кВт·год/м<sup>2</sup>. Відтак, ефективність використання сонячних установок по усій території області буде однаковою.

Для ілюстрації часової нерівномірності роботи сонячних установок на рис. 4 приведені добові

графіки інтенсивності сонячного опромінення для зимового і літнього місяців в м. Кіровограді.

Таблиця 1 - Середньодобове опромінення горизонтальної поверхні по місяцях (кВт·год/м<sup>2</sup>)

Місяць	Населений пункт				
	Гайворон	Світловодськ	Кіровоград	Олександрівка	Устинівка
I	0,96	0,86	0,93	0,93	1,00
II	1,64	1,46	1,57	1,57	1,69
III	2,71	2,53	2,65	2,65	2,76
IV	3,96	3,69	3,85	3,85	3,95
V	4,79	4,50	4,66	4,66	4,84
VI	4,84	4,57	4,75	4,75	4,88
VII	4,57	4,29	4,48	4,48	4,67
VIII	4,18	3,91	4,06	4,06	4,25
IX	3,24	3,04	3,15	3,15	3,29
X	1,95	1,87	1,95	1,95	2,06
XI	1,17	1,08	1,16	1,16	1,24
XII	0,80	0,72	0,79	0,79	0,88
Рік	2,94	2,76	2,88	2,87	3,00
За рік	1072,7	1005,9	1049,4	1048,1	1093,8

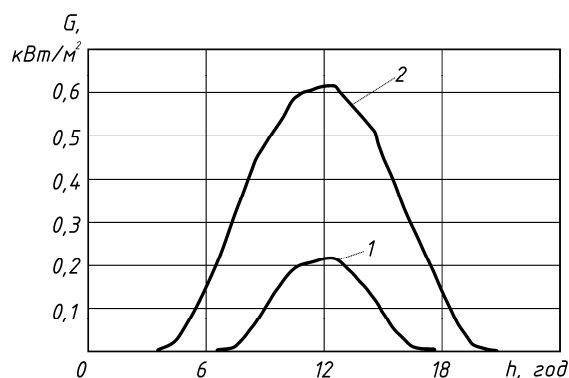


Рисунок 4 – Зміна інтенсивності сонячного опромінення (кВт·год/м<sup>2</sup>) протягом доби: 1 — січень; 2 — липень

Графіки інтенсивності сонячного опромінення для інших місяців року лежать між крайніми кривими 1 і 2 на рис.4.

**Потенціал енергії вітру.** Основним параметром для оцінки енергетичного потенціалу слугує середня кубічна швидкість, яка визначається із емпіричного закону розподілу швидкості.

З метою визначення параметрів розподілу були використані статистичні дані з [7]. Для шести метеостанцій (Новомиргород, Знамянка, Кіровоград, Гайворон, Помічна, Бобринець) було виконано апроксимацію емпіричного закону теоретичним двопараметричним законом розподілу Вейбула:

- диференційну

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

- інтегральну (функція ймовірності появу швидкості вітру, більшої за  $u'$ )

$$\Phi_{u>u'} = \exp \left[ - \left( \frac{u'}{c} \right)^k \right];$$

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

За відомою функцією розподілу можна знайти похідні характеристики вітру, такі як:

- середня швидкість

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

Параметри розподілу наведені в табл 2.

Таблиця 2 – Параметри розподілу Вейбула для населених пунктів Кіровоградської області

Місяць	Населений пункт											
	Новомиргород		Знам'янка		Кіровоград		Гайворон		Помічна		Бобринець	
	$c$	$k$	$c$	$k$	$c$	$k$	$c$	$k$	$c$	$k$	$c$	$k$
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	1,9	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

Отримані параметри дають змогу визначити:

1) функцію ймовірності появи швидкості вітру, більшої за  $u'$ :

$$\Phi_{u>u'} = \exp \left[ - \left( \frac{u'}{c} \right)^k \right];$$

2) середню швидкість вітру

$$\bar{u} = c \Gamma \left( 1 + \frac{1}{k} \right),$$

де  $\Gamma(\cdot)$  — гамма-функція;

3) середню кубічну швидкість вітру

$$\langle u \rangle = c^3 \Gamma \left( 1 + \frac{3}{k} \right);$$

4) питому потужність вітрового потоку (потужність, що переноситься крізь переріз  $1 \text{ м}^2$ , який розміщено перпендикулярно потоку),  $\text{Вт/м}^2$ :

$$P_u = \frac{\rho \langle u \rangle^3}{2},$$

де  $\rho$  — густина повітря;

5) питому середньодобову енергію вітрового потоку,  $\text{кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$ :

$$E_u = 24 P_u / 1000;$$

6) функція розподілу енергії вітру:

$$W_u = P_u \Phi_u.$$

Таблиця 3 – Результати розрахунку  $\langle u \rangle$  та  $E_u$  для населених пунктів Кіровоградської області

Місяць	Населений пункт											
	Новомиргород		Знам'янка		Кіровоград		Гайворон		Помічна		Бобринець	
	$\langle u \rangle$	$E_u$	$\langle u \rangle$	$E_u$	$\langle u \rangle$	$E_u$	$\langle u \rangle$	$E_u$	$\langle u \rangle$	$E_u$	$\langle u \rangle$	$E_u$
I	6,9	6,37	5,9	3,86	7,3	7,40	5,32	2,89	6,37	4,96	6,40	5,03
II	6,8	6,13	6,1	4,41	7,6	8,35	5,74	3,62	6,72	5,83	6,70	5,76
III	6,9	6,38	6,4	4,99	7,7	8,74	5,44	3,10	6,77	5,97	6,95	6,44
IV	6,5	5,22	5,8	3,68	7,0	6,54	5,37	2,97	5,95	4,04	6,19	4,55
V	6,8	6,09	5,8	3,65	6,6	5,60	5,09	2,53	6,28	4,74	6,12	4,39
VI	5,5	3,12	5,3	2,79	6,0	4,07	4,43	1,67	5,47	3,15	6,16	4,49
VII	5,2	2,74	4,7	2,01	5,5	3,10	4,62	1,90	4,99	2,39	5,93	4,00
VIII	5,9	3,70	4,8	2,12	6,1	4,24	4,40	1,64	5,09	2,54	5,54	3,27
IX	5,6	3,42	4,7	1,98	6,2	4,62	4,15	1,37	5,32	2,89	5,79	3,72
X	6,0	4,10	5,7	3,48	6,1	4,32	5,32	2,89	5,79	3,72	6,26	4,70
XI	6,0	4,39	5,9	4,00	6,6	5,52	5,22	2,72	6,39	5,02	6,14	4,44
XII	6,6	5,54	6,0	4,17	6,5	5,30	5,09	2,52	6,53	5,34	6,23	4,65
Рік	6,4	4,95	5,8	3,64	6,6	5,59	5,26	2,79	6,06	4,28	6,14	4,43
За рік	1805,8		1329,8		2040,7		1018,4		1560,9		1618,3	

В табл. 3 наведені розрахункові значення середньої кубічної швидкості вітру та питомої середньодобової енергії вітрового потоку. Аналіз таблиці дозволяє виявити річний хід швидкості вітру, зокрема - зимовий максимум та літній мінімум. Така тенденція характерна для території України в цілому.

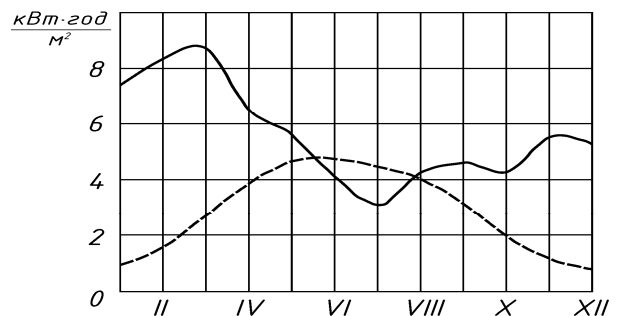


Рисунок 5 – Річний хід енергетичних потоків сонця (пунктирна крива) та вітру (суцільна) для м. Кіровограда

Інтенсивність потоків вітрової та сонячної енергій (рис. 5) знаходяться практично в "протифазі", оскільки максимальний потік енергії вітру спостерігається у II-IV місяці, а сонця – V-VII місяці; мінімальний вітру - у VI-VIII місяцях, а сонця - XI-II місяці.

Такий розподіл обумовлює перспективність сумісного використання вітрових та сонячних установок протягом всього року в рамках гібридних систем енергопостачання. Сумарне надходження енергії від сонячної та вітрової енергоустановок дозволить значно зменшити нерівномірність режиму енергопостачання, у порівнянні з використанням кожного джерела окремо.

**Потенціал гідроенергії.** В області функціонують гідроелектростанції (ГЕС): Кременчуцька - 625,0 МВт; Тернівська - 1,95 МВт; Гайворонська - 5,7 МВт; Червонохутірська - 3,3 МВт; Новоархангельська - 1,3 МВт; Березівська - 0,16 МВт. Крім того, діють чотири малих ГЕС, що розміщені на річках Південний Буг – Гайворонська (м. Гайворон), Синюха – Тернівська (Новоархангельський р-н), Краснохутірська (Вільшанський р-н) та Новоархангельська.

З доступних 51 млн. кВт·год/рік [1] економічно доцільного потенціалу малої гідроенергетики нині використовується 31,9 млн. кВт·год/рік [4], тобто близько 19,1% потенціалу області ще не вичерпано.

Для повного використання гідроресурсів необхідно провести дослідження з пошуку або організації місць на р. Синюха та р. Інгул із стабільним значенням висоти водяного стовпа  $h \geq 8$ м протягом року.

#### **Висновки:**

1. Райони України відрізняються за своїми географо-кліматичними умовами, рельєфом, структурою енергоспоживання, що обумовлює потребу в окремому детальному дослідженні енергоресурсного потенціалу кожного з них.

2. Найбільшу частку в енергетичному потенціалі Кіровоградської області складає біомаса соняшника та кукурудзи (понад 70 %).

3. Енергетичний потенціал сонячного опромінення практично в усіх районах є достатнім для застосування, наприклад, сонячних колекторів підігріву води.

4. Енергетичні характеристики вітрового потоку отримані через параметри розподілу Вейбула, такий підхід є придатним для аналізу вітропотенціалу будь-якої території.

5. Сумісне використання сонячної та вітрової енергій в гібридних системах енергопостачання протягом року дозволить значно зменшити нерівномірність режиму енергопостачання, у порівнянні з використанням кожного джерела окремо.

6. Подальших досліджень потребує оптимізація вибору якісного та кількісного складу комбінованих систем енергозабезпечення.

#### **Список використаних джерел**

1. Енергетична стратегія України до 2030 року // Офіційний сайт "Законодавство України" / [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/signal/kr06145a.doc>. - Назва з екрану.

2. Петрова К. Г. Вирівнювання режиму електроспоживання сільськогосподарських споживачів у часі / К. Г. Петрова, С. В. Серебренников // Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенка. Технічні науки. "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". – Харків: ХНТУСГ, 2012. – Вип. 130. – С. 25 – 26.

3. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / Кудря С. О., Яценко Л. В., Душина Г. П. та ін. – 2-ге вид. – К.: НАНУ Ін-т електродинаміки; Державний комітет України з енергозбереження, 2010. – 24 с.

4. Сабірзянов Т. Г. Методика вибору структури і складу систем електропостачання з відновлювальними джерелами енергії / Т. Г. Сабірзянов, М. В.Кубкін, В. П.Солдатенко // Техніка в с/г виробництві, галузеве машиноб., автомат.: Зб. наук. праць КНТУ. – Кіровоград: КНТУ, 2011. – Вип. 24, Ч. 2. – С. 146 – 151.

5. Програма енергоефективності Кіровоградської області на період до 2015 року // Офіційний сайт департаменту інфраструктури та промисловості Кіровоградської обласної державної адміністрації / [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [http://prom.kr-admin.gov.ua/prog\\_energoefekt\\_2012-2015.pdf](http://prom.kr-admin.gov.ua/prog_energoefekt_2012-2015.pdf). - Назва з екрану.

6. Atmospheric Science Data Center // Офіційний сайт "NASA Langley Research Center" / [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse> - Назва з екрану.

7. Справочник по климату СССР. Выпуск 10. Украинская ССР. Часть III. Ветер. – Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1967. – 690 с.

#### **Анотація**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕГИОНАЛЬНЫХ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА**

Плешков П. Г., Кубкин М. В., Петрова Е. Г., Серебренников С. В., Солдатенко В. П., Стец П. Г.

*Проведена оцінка енергетических ресурсов Кировоградской области, определены приоритеты использования альтернативных источников энергии для отдельных районов, намечены перспективы их комплексного использования.*

#### **Abstract**

### **THE RESEARCH OF ENERGY POTENTIAL OF REGIONAL ALTERNATIVE SOURCES FOR OPTIMIZING ENERGY BALANCE**

P. Pleshkov, M. Kubkin, K. Petrova, S. Serebrennikov, V. Soldatenko, P. Stec

*The carried out estimation of energy resources of Kirovograd region, identified the priorities of alternative energy sources for specific areas slated, planned the prospects for their integrated use.*