

ВИКОРИСТАННЯ ПОТЕНЦІАЛУ РОСЛИННИЦТВА ДЛЯ ПОСИЛЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД

Б. С. Серебренніков, кандидат економічних наук, доцент

Аналітичний центр ГО "ДІКСІ ГРУП"

О. І. Сіріков, кандидат технічних наук, доцент

А. І. Котиш, кандидат технічних наук, доцент

С. В. Серебренніков, кандидат технічних наук, професор

Центральноукраїнський національний технічний університет

E-mail: sv.serebrennikov@gmail.com

Анотація. В Україні зростає необхідність посилення надійності енергозабезпечення на регіональному рівні за рахунок розроблення ефективних стратегій розвитку локальної біоенергетики. Порівняльний аналіз територій за біоенергетичним потенціалом сільськогосподарських (С/Г) культур допомагає виявити найпродуктивніші з них, визначити чинники формування біоенергетичного потенціалу кожної об'єднаної територіальної громади (ОТГ) у притаманних їй природно-кліматичних умовах.

Метою дослідження є підвищення рівня енергетичної незалежності ОТГ шляхом визначення розподілу біоенергетичного потенціалу та прогнозування біопродуктивності місцевого С/Г рослинництва. На прикладі 49 ОТГ Кіровоградської області здійснено оцінку обсягу вторинної рослинної сировини, яку можна отримати з орних угідь для виготовлення біопалива. Статистичний аналіз проводили за передвоєнний період 2019-2021 років, охоплюючи 12 ключових культур: ярі та озимі пшеницю і ячмінь, жито, овес, ріпак, просо, соняшник, кукурудзу, сою та гречку.

Кількість зібраної непродуктивної частини рослин встановлювали опосередкованим способом, базуючись на кореляційному перерахунку статистичних даних щодо валового врожаю агрокультур. Розподіл енергетичного біопотенціалу серед ОТГ обчислювали так: за площами посівів та валовим врожаєм з'ясовували середню врожайність зернової частини культур за трирічний період, за якою, використовуючи кореляційні коефіцієнти, вираховували масу непродуктивної частини рослин; енергетичну продуктивність рослин оцінювали за теплотворною здатністю; і, зрештою, визначали "чисту" (нетто) біопродуктивність з урахуванням втрат та неенергетичного використання біосировини.

Виявлено ключові С/Г культури та сформовано мапу розподілу біоенергетичних ресурсів для кожного ОТГ. Згідно з мапою, для степу та лісостепу найбільш енергоємними виявилися пшениця, кукурудза, ячмінь, соняшник, овес і жито. Зокрема, пшениця з кукурудзою складають близько 40...50 % від загального

енергопотенціалу рослинної біомаси (брутто). При цьому енергетична продуктивність пшениці переважає кукурудзу в середньому на 35 %.

Після врахування втрат і витрат рослинної маси на неенергетичні потреби, було сформовано уточнену мапу розподілу "чистого" (нетто) біоенергетичного потенціалу, з якої очевидно, що за таких умов лідерство переходить до кукурудзи, яка випередила пшеницю за енергетичною продуктивністю на 16 % по всіх ОТГ.

Згідно із скоригованим розподілом "чистого" біоенергетичного потенціалу лідирують три ОТГ з $E_{CP.H} = 1,27...1,36$ т.у.п/га з пріоритетними культурами: кукурудза, пшениця, соняшник та соя. Найнижчий біоенергетичний потенціал мають три ОТГ з $E_{CP.H} = 0,85...0,99$ т.у.п/га.

Зіставлення потенціалів загального та "чистого" виявляє, що фактично досяжний біоенергетичний ресурс складає лише 52,5 % від розрахункового, а, отже, необхідно активніше впроваджувати новітні технології для мінімізації втрат та неенергетичного використання біомаси.

Ключові слова: *біоенергетичні ресурси, сільськогосподарські культури, енергопродуктивність, територіальний розподіл енергопотенціалу*

Актуальність. Внаслідок руйнування російськими атаками значної частки енергетичної інфраструктури України загострюється питання зміцнення енергетичної стійкості на локальному рівні [1, 2]. Для переходу енергетичних систем від класичних видів палива (газ, вугілля) до альтернативних (пелети, брикети та гранули рослинного походження) необхідне наукове оцінювання біоенергетичних можливостей кожної ОТГ та визначення пріоритетних аграрних культур для самозабезпечення біосировиною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У праці [2] висвітлено базові теорії технологій відновлюваної енергетики, проведено розрахунки вартості енергії при різних комбінаціях джерел енергії, проаналізовано потенціал регіонів за традиційними та альтернативними енергоресурсами. Головним недоліком [2] є акцент на глобальних і національних трендах, тоді як особливостям окремих територій приділено недостатньо уваги. Отже, необхідні додаткові комплексні дослідження ресурсів регіональних відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та енергопотенціалу кожної конкретної громади.

За даними [3] та створеними мапами розподілу енергопотенціалу ВДЕ по областях України для Кіровоградщини перспективним є використання енергії вітру, сонця, переробки агровідходів, застосування малих гідроелектростанцій. Проте, усереднених по областях показників [3] недостатньо для формування детальної

мапи мікророзподілу потенціалу ВДЕ серед територіальних громад України. Продуктивність рослинництва залежить від багатьох чинників: кліматичних умов, структури та родючості ґрунтів, норм висіву тощо [4, 5]. Водночас, прогнозування біоресурсної продуктивності ускладнюється недотриманням аграріями норм висіву та сівозміни. Значні відхилення від обґрунтованих сівозміною площ пояснюються низькою мотивацією фермерів та їхнім прагненням максимізувати прибуток у короткостроковій перспективі.

Мета дослідження – розроблення ефективної стратегії підвищення енергетичної самодостатності на локальному рівні шляхом виявлення розподілу біоенергетичного потенціалу серед територіальних громад області та прогнозування енергетичної продуктивності місцевих *С/Г* ресурсів.

Для досягнення цієї мети визначено такі ключові завдання: створення мап розподілу енергоресурсів, що дозволить провести порівняльний аналіз потенціалу різних ОТГ; визначення найбільш перспективних культур з точки зору біоенергетики; виявлення чинників, які формують біоенергетичний потенціал кожної ОТГ з урахуванням її специфічних природно-кліматичних умов.

Матеріали і методи дослідження. У роботі використано такі методи наукових досліджень: математична статистика та теорія ймовірності (при оцінюванні маси рослинницької сировини); опосередкований метод розрахунку маси непродуктивної частини рослин, оснований на кореляційному перерахунку статистичних даних щодо валового врожаю агрокультур.

Результати досліджень та їх обговорення. На прикладі Кіровоградської області проведено всебічне дослідження потенціалу рослинницької галузі *С/Г*, як джерела біоенергетичних ресурсів.

Велика протяжність області із заходу на схід і її поділ внаслідок адміністративної реформи на 4 райони межами з півночі на південь та на 49 ОТГ зумовлює істотні відмінності між ними за природно-кліматичними умовами і енергетичним потенціалом. Це вимагає ретельного дослідження потенціалу ВДЕ, диференційованого по кожному ОТГ, з врахуванням специфіки їх географічного розташування, структури та родючості ґрунтів, особливостей рельєфу тощо.

Область розташована на стику лісостепової та степової зон. Тому господарства центру, півночі й заходу області з недостатнім зволоженням і рівнинним ландшафтом орієнтуються на вирощування зернових (пшениця, ячмінь), цукрових буряків і соняшнику; помірно-посушливі південні та східні регіони спеціалізуються на пшениці, кукурудзі та соняшнику; придніпров'я з розчленованим рельєфом віддає перевагу зерновим суцільного посіву, сої, ріпаку та кукурудзі.

За інформацією [6], сільгоспугіддя Кіровоградщини охоплюють 2458800 га, з яких 2040400 га (83 %) – орні землі. У структурі решти 17 % можна виокремити: багаторічні трав'яні насадження – 1,1 %, сіножаті – 1,2 %, пасовища – 11,1 % та ін.

Урядова постанова "Про затвердження нормативів оптимального співвідношення культур у сівозмінах" встановлює норми посівних площ для всіх кліматичних зон країни. Однак фактичні площі посівів дещо відрізняються від державних нормативів, особливо по соняшнику – на 30...60 % [6].

На підставі статистичних даних обласного центру агропромислового розвитку було здійснено оцінювання маси вторинної рослинницької сировини (солома, стебла, лушпиння та інші непродуктивні частини рослин) за три роки по 12 основних продовольчих культурах: ярої та озимої пшениці і ячменю, житу, вівсу, ріпаку, соняху, кукурудзі, сої та гречці. Іншими С/Г культурами, такими як горох чи сорго, нехтували, позаяк їхній внесок у енергетичний баланс виявився на порядок менший від інших культур.

Оскільки інформація про обсяги збору непродуктивної частини рослин, зазвичай відсутня, то для оцінювання її маси застосовували непрямий метод, оснований на кореляційному перерахунку статистичних даних щодо валового врожаю сільгоспкультур. Оцінювання енергетичного біопотенціалу по ОТГ області проводили з використанням відповідних кореляційних коефіцієнтів перерахунку [7] за таким алгоритмом:

1-й щабель – за відомими площами посівів та значенням річного валового врожаю, визначали продуктивність P зернової частини С/Г культур, кг/га:

$$P = V / F, \quad (1)$$

де V – валовий врожай, кг, F – площа посівів, га;

2-й щабель – осереднювали продуктивність \bar{P}_{CP} кожної С/Г культури за T років спостереження:

$$\bar{P}_{CP} = (\sum_{i=1}^T P_i) / T, \quad (2)$$

де P_i – продуктивність певної культури в i -му році, кг/га;

3-й щабель – обчислювали біомасу (BM_{CP}) непродуктивної частини С/Г культур, яка може використовуватись як біопаливо, кг/га:

$$BM_{CP} = \bar{P}_{CP} K_{BC} \quad (3)$$

де K_{BC} – коефіцієнт, що характеризує співвідношення між масами продуктивної та непродуктивної частин рослини;

4-й щабель – по BM_{CP} визначали біоенергопродуктивність E_{CP} кожної С/Г культури, Дж/га:

$$E_{CP} = BM_{CP} Q_{HP}, \quad (4)$$

де Q_{HP} – нижча теплота згоряння біосировини, Дж/кг [4];

5-й щабель – оцінювали "чисту" (нетто) біоенергопродуктивність $E_{CP.H}$ культур з врахуванням втрат сировини при переробці (K_{BTP}) та неенергетичного використання біомаси (K_{EH}):

$$E_{CP.H} = (1 - K_{BTP}) K_{EH} E_{CP} \quad (5)$$

Коефіцієнт K_{EH} відображає частку біосировини, що не використовують у тваринництві на корм, санітарно-гігієнічні та інші потреби. Зведемо значення коефіцієнтів, необхідних для розрахунку E_{CP} та $E_{CP.H}$, до табл.1.

Оцінимо обсяг умовного палива, який може отримати ОТГ, шляхом розрахунку середньорічної біоенергопродуктивності E_{CP} С/Г культур, переведеної з натурального палива (Дж/га) в умовне (т.у.п./га), за довоєнні 2019–2021 рр. і зведемо результати для основних регіонів області до табл.2.

1. Розрахункові коефіцієнти для визначення енергопотенціалу непродуктивної частини С/Г культур

С/Г культура	Q_{HP} , кДж/кг	K_{BC}	K_{BTP}	K_{EH}
Пшениця	17180	1,6	0,1	0,5
Жито	15460	1,9	0,1	0,5
Овес	16130	1,6	0,1	0,4
Гречка	12570	1,9	0,1	0,8
Просо	12570	1,6	0,1	0,5
Кукурудза (на зерно)	13700	1,3	0,25	1
Ячмінь	15920	1,2	0,1	0,6
Соя	15920	1,3	0,1	1
Ріпак	15335	1,5	0,1	1
Сонях (стебла)	13700	2,2	0,3	1
Сонях (лушпиння)	15711	0,19	0,05	1

2. Біоенергопродуктивність брутто (E_{CP} , т.у.п./га) С/Г культур по ОТГ

Культура ОТГ	Пшениця (озима)	Пшениця (яра)	Ячмінь (озимий)	Ячмінь (ярий)	Кукурудза	Сонях	Овес	Гречка	Ріпак	Соя	Жито	Просо	Середня по ОТГ
Олександрійська	4,18	3,05	1,86	1,63	5,05	2,25	2,89	0,88	1,42	1,56	1,39	1,79	2,33
Знам'янська	3,92	1,98	2,20	1,25	5,14	2,63	3,14	0,74	1,20	1,57	1,28	1,42	2,21
Новомиргородська	3,50	1,90	1,93	1,42	4,75	2,13	2,44	0,95	1,00	1,52	2,30	2,31	2,18
Новоукраїнська	3,40	2,26	1,87	1,40	4,22	2,13	1,86	0,79	0,71	1,29	3,29	1,43	2,05
Олександрівська	3,17	3,29	1,80	1,60	4,61	1,84	1,94	0,82	1,09	1,41	1,45	1,17	2,02
Компаніївська	2,86	1,69	1,51	1,36	2,80	2,21	1,90	1,01	0,82	1,17	4,80	1,91	2,00
Кропивницька	3,26	2,05	1,77	1,42	3,71	2,27	1,65	0,80	1,37	1,33	2,69	1,50	1,99
Благовіщенська	3,54	2,87	1,88	1,49	3,77	1,76	1,81	0,93	1,13	1,15	1,52	1,85	1,97
Світловодська	3,41	1,49	1,34	1,38	4,89	2,03	2,15	0,53	1,08	1,46	2,00	1,43	1,93
...
Новгородківська	3,41	2,97	1,58	1,25	3,00	2,17	2,37	0,50	1,26	1,32	1,76	1,10	1,89
Гайворонська	3,36	2,64	1,97	1,42	3,62	1,86	1,32	0,94	1,43	1,31	1,38	1,21	1,87
Голованівська	3,90	2,06	1,75	1,45	3,45	1,93	2,70	0,61	1,68	1,49	0,00	1,26	1,86
Маловисківська	3,18	2,14	1,75	1,33	3,79	1,78	1,26	0,99	1,06	1,20	2,34	1,55	1,86
Добровеличківська	2,76	1,89	1,41	1,11	4,01	2,11	2,46	0,96	1,30	1,23	1,32	1,30	1,82
Онуфріївська	2,83	1,86	1,77	1,15	3,98	1,73	1,67	0,77	1,37	1,44	1,75	1,28	1,80
Новоархангельська	2,97	1,97	1,82	1,64	3,65	1,75	1,37	0,71	0,86	1,31	1,27	1,13	1,70
Петрівська	3,04	2,07	1,61	1,10	3,19	2,30	1,31	0,70	1,22	0,75	1,61	1,40	1,69
Устинівська	2,95	0,89	1,71	1,00	3,51	2,24	1,15	0,68	1,26	1,01	2,27	1,65	1,69
Бобринецька	2,54	2,05	1,34	1,08	2,97	1,67	1,27	0,94	0,82	1,30	1,30	1,84	1,59
Долинська	2,92	2,01	1,44	1,04	2,41	2,03	1,21	0,57	1,13	0,88	0,00	1,76	1,45
Середня	3,23	2,15	1,72	1,33	3,79	2,04	2,04	0,79	1,18	1,27	1,70	1,57	1,90

Аналіз табл.2 показує, що в усіх ОТГ області найвищу енергопродуктивність демонструють пшениця і кукурудза, а також ячмінь, соняшник, овес та жито. Пшениця разом з кукурудзою становлять близько 40...50 % загального енергопотенціалу рослинної біомаси (брутто) в кожній ОТГ, тоді як вплив інших культур значно менший. Очевидно, що пшениця перевершує потенційну енергетичну продуктивність кукурудзи в середньому на

$$\Delta E_{CP} = \frac{2(E_{CP.1} - E_{CP.2})}{E_{CP.1} + E_{CP.2}} 100\% = \frac{2(5,38 - 3,79)}{5,38 + 3,79} 100\% = 35\%, \text{ а соняшнику – на } 90\%.$$

Дослідження найбільш енергоємних культур також свідчить, що у більшості ОТГ кукурудза за енергопродуктивністю майже вдвічі перевищує соняшник. Тут варто зазначити, що хоча соняшникове лушпиння має значний потенціал у паливному балансі області, проте, позаяк воно транспортується на олійножирові комбінати разом із зерном і належить цим підприємствам, тому його не включено до балансів ОТГ.

Необхідно також враховувати, що частина сільськогосподарських площ, відведених під кукурудзу, використовується як кормова база. У структурі польового кормовиробництва посіви кукурудзи на силос, як і багаторічних трав, становлять 16...25 % (менше на Поліссі, більше в Лісостепу і Степу) [5]. Тому, при оцінці чистої біоенергопродуктивності $E_{CP.H}$ кукурудзи застосовуємо коефіцієнт $K_{EH} = 0,75$.

Через великі посівні площі, перші три місця в області за валовим збором непродуктивної частини С/Г культур посідають кукурудза, пшениця і соняшник; при цьому за валовим збором соломи пшениця впевнено лідирує.

На основі проведених розрахунків (табл.2) створено мапу біоенергетичного брутто-потенціалу по ОТГ Кіровоградської області.

Варіативність у біоенергетичному потенціалі різних ОТГ з найвищим та найнижчим енергопотенціалом сягає 41,4 %. Це зумовлено трьома ключовими чинниками:

– істотними відмінностями в якості та характеристиках ґрунтового покриву різних регіонів;

- належністю південних ОТГ (зокрема, Долинської) до степової зони ризикованого землеробства;
- недотриманням агрогосподарствами рекомендованих норм сівозміни.

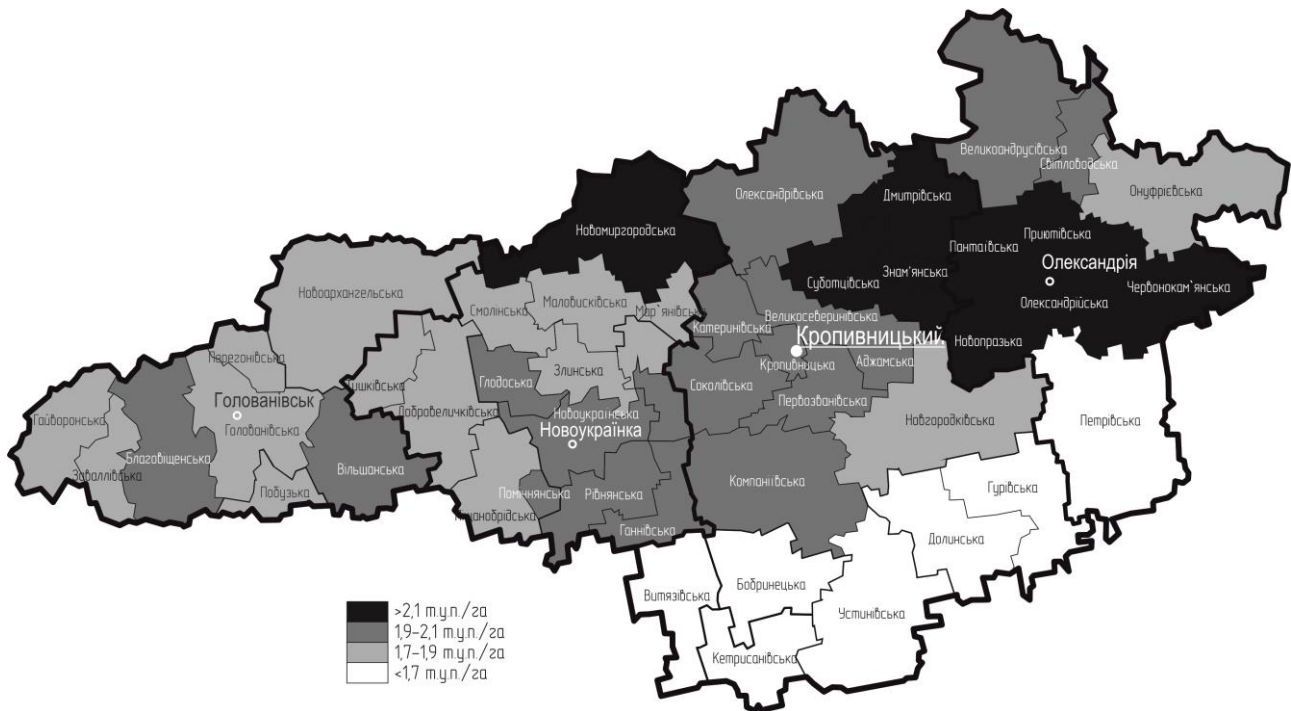


Рис. 1. Мапа сумарного біоенергетичного потенціалу (брutto) по ОТГ Кіровоградської області

Після аналізу всіх негативних чинників, що впливають на продуктивність посівних площ, та врахування коефіцієнтів втрат при обробці сировини й неенергетичного використання, отримаємо мапу енергопотенціалів "нетто". Враховуючи використання певної частини біомаси на корм, санітарно-гігієнічні потреби тваринництва та добриво, отримаємо, що кукурудза випереджає пшеницю за енергетичною продуктивністю в середньому на 16 % по всіх ОТГ (табл. 3).

За скоригованим розподілом "нетто"-біоенергетичного потенціалу (табл. 3), лідирує Олександрійська ОТГ ($E_{\text{ср.н}} = 1,36$ т.у.п./га) з пріоритетними культурами: кукурудза (3,78 т.у.п./га), пшениця (1,88+1,37 т.у.п./га) та соняшник (1,58 т.у.п./га). Друге місце посідає Знам'янська ОТГ ($E_{\text{ср.н}} = 1,3$ т.у.п./га) з кукурудзою (3,85 т.у.п./га) та пшеницею (1,76+0,89 т.у.п./га). На третьому місці – Новомиргородська

ОТГ ($E_{CP.H} = 1,27$ т.у.п./га) з кукурудзою (3,56 т.у.п./га), соняшником (1,49 т.у.п./га) та соєю (1,37 т.у.п./га).

3. Біоенергопродуктивність нетто ($E_{CP.H}$, т.у.п./га) С/Г культур по ОТГ

Культура ОТГ	Пшениця (озима)	Пшениця (яра)	Ячмінь (озимий)	Ячмінь (ярий)	Кукурудза	Сонях	Овес	Гречка	Ріпак	Соя	Жито	Просо	Середня по ОТГ
Олександрійська	1,88	1,37	1,01	0,88	3,78	1,58	1,04	0,63	1,28	1,40	0,63	0,81	1,36
Знам'янська	1,76	0,89	1,19	0,68	3,85	1,84	1,13	0,53	1,08	1,41	0,58	0,64	1,30
Новомиргородська	1,57	0,85	1,04	0,77	3,56	1,49	0,88	0,69	0,90	1,37	1,03	1,04	1,27
Новоукраїнська	1,53	1,02	1,01	0,76	3,16	1,49	0,67	0,57	0,64	1,16	1,48	0,65	1,18
Олександрівська	1,43	1,48	0,97	0,87	3,46	1,29	0,70	0,59	0,98	1,27	0,65	0,53	1,18
Кропивницька	1,46	0,92	0,96	0,77	2,79	1,59	0,59	0,58	1,24	1,20	1,21	0,67	1,16
Світловодська	1,53	0,67	0,72	0,75	3,67	1,42	0,77	0,38	0,98	1,31	0,90	0,64	1,14
Благовіщенська	1,59	1,29	1,02	0,81	2,83	1,23	0,65	0,67	1,02	1,04	0,69	0,83	1,14
Вільшанська	1,25	0,90	0,94	0,70	2,34	1,43	1,82	0,62	1,36	0,88	0,00	1,20	1,12
Компаніївська	1,29	0,76	0,81	0,74	2,10	1,55	0,68	0,73	0,73	1,06	2,16	0,86	1,12
Гайворонська	1,51	1,19	1,06	0,77	2,71	1,30	0,48	0,67	1,29	1,18	0,62	0,54	1,11
...
Голованівська	1,76	0,93	0,95	0,79	2,59	1,35	0,97	0,44	1,51	1,34	0,00	0,57	1,10
Маловисківська	1,43	0,96	0,95	0,72	2,84	1,25	0,45	0,71	0,95	1,08	1,05	0,70	1,09
Добровеличківська	1,24	0,85	0,76	0,60	3,01	1,48	0,88	0,69	1,17	1,11	0,60	0,59	1,08
Новгородківська	1,53	1,34	0,85	0,67	2,25	1,52	0,85	0,36	1,13	1,19	0,79	0,49	1,08
Онуфріївська	1,27	0,84	0,96	0,62	2,98	1,21	0,60	0,56	1,24	1,30	0,79	0,58	1,08
Новоархангельська	1,34	0,89	0,98	0,88	2,74	1,22	0,49	0,51	0,78	1,18	0,57	0,51	1,01
Устинівська	1,33	0,40	0,93	0,54	2,63	1,57	0,42	0,49	1,14	0,91	1,02	0,74	1,01
Петрівська	1,37	0,93	0,87	0,59	2,39	1,61	0,47	0,50	1,10	0,67	0,73	0,63	0,99
Бобринецька	1,14	0,92	0,72	0,58	2,22	1,17	0,46	0,67	0,74	1,17	0,59	0,83	0,94
Долинська	1,31	0,90	0,78	0,56	1,81	1,42	0,43	0,41	1,02	0,79	0,00	0,79	0,85
Середня культури	1,45	0,97	0,93	0,72	2,84	1,43	0,74	0,57	1,06	1,14	0,77	0,71	1,11

Найнижчий біоенергетичний потенціал мають Долинська ($E_{CP.H} = 0,85$ т.у.п./га) та Бобринецька ОТГ ($E_{CP.H} = 0,94$ т.у.п./га), хоча за окремими культурами (кукурудза, соняшник, соя) вони досягають доволі високих показників (1,17...2,22 т.у.п./га).

Порівняння середніх значень біоенергетичного потенціалу області від $E_{CP} = 1,90$ т.у.п./га (табл.2) до $E_{CP.H} = 1,11$ т.у.п./га (табл.3) показує, що реально досяжний потенціал становить тільки 52,5 % від розрахункового. Для наближення реальних

показників $E_{CP.H}$ до максимальних E_{CP} необхідно активніше впроваджувати економічні, інформаційні, нормативні та інші заходи [8], стимулюючи фермерські господарства до збереження вторинної сировини рослинництва та її переробки на біопаливо. Наприклад, у країнах ЄС замість солом'яної підстилки використовують злив відходів до біореакторів та впроваджують інші передові технології в тваринництві, що знижує K_{BTP} та підвищує K_{EH} .

Висновки і перспективи.

1. Для підвищення енергетичної самодостатності територіальних громад необхідно проводити ґрунтовний аналіз потенціалу локальних ВДЕ, враховуючи специфіку географічного розташування громад, структуру й родючість ґрунтів, особливості рельєфу тощо.

2. Застосована методика оцінки енергоресурсного потенціалу рослинництва на місцевому рівні за результатами статистичних досліджень, проведених протягом трьох років за 12 основними культурами дозволила оцінити потенціал біоенергетичних ресурсів, виявити пріоритетні культури та сформувати мапи розподілу енергетичного потенціалу по територіальних громадах області.

3. Найенергоєфективнішими культурами виявились пшениця і кукурудза, а також ячмінь, соняшник, овес та жито; зокрема, пшениця з кукурудзою складають близько 40...50 % від загального енергопотенціалу рослинної біомаси (брутто) по кожному ОТГ. При цьому енергетична продуктивність пшениці переважає кукурудзу в середньому на 35 %.

4. Після врахування негативних чинників, що впливають на врожайність, та втрат при обробці сировини і використання для потреб тваринництва, було створено скориговану мапу нетто-енергопотенціалів. У результаті кукурудза випередила пшеницю, перевершивши її енергетичну продуктивність у середньому на 16 % по всіх ОТГ.

5. Встановлено, що реально досяжний біоенергетичний потенціал становить лише 52,5 % від розрахункового. Для наближення фактичних показників енергетичних можливостей регіону $E_{CP.H}$ до максимальних E_{CP} необхідно активніше впроваджувати економічні, інформаційні та нормативні заходи, спрямовані на

заохочення аграрних господарств до збереження вторинної сировини рослинництва та переробки її на біопаливо.

Список використаних джерел

1. Закон України "Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу". ВВР. 2005.
2. John Twidell and Antony Wair. Renewable energy resources. 3 ed.: Taylor & Francis, 2014. 816 p.
3. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / за ред. С.О. Кудрі. Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. 82 с.
4. Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні. Практичний посібник / за ред. Г. Гелетухи. Київ: Поліграф плюс, 2016. 104 с.
5. Зінченко О.І. Кормовиробництво. Навчальне видання. 2-ге вид., доп. і перероб. Київ: Вища освіта, 2005. 448 с.
6. Державна служба статистики України. Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/metaopus/2020>.
7. Ключ С.В. Визначення частки соломи та рослинних відходів для енергетичного використання. Відновлювана енергетика. 2013. № 4. С. 82-85.
8. Serebrennikov B., Petrova K., Serebrennikov S. Comprehensive Management of Electricity Demand Distribution in Time. Problemele Energeticii Regionale. 2023. № 2(58). P. 26-41.

References

1. Zakon Ukrainy "Pro kombinovane vyrobnytstvo teplovoyi ta elektrychnoyi enerhiyi (koheneratsiyu) ta vykorystannya skydnoho enerhopotentsialu" [Law of Ukraine "On combined production of heat and electricity (cogeneration) and use of waste energy potential"]. (2005). VVR
2. John Twidell and Antony Wair (2014). Renewable energy resources. 3 ed.: Taylor & Francis, 816.
3. Atlas enerhetychnoho potentsialu vidnovlyuvanykh dzherel enerhiyi Ukrainy [Atlas of the energy potential of renewable energy sources of Ukraine] / za red. S.O. Kudri (2020).. Instytut vidnovlyuvanoyi enerhetyky NANU, 82.
4. Pidhotovka ta vprovadzhennya proektiv zamishchennya pryrodnoho hazu biomasoyu pry vyrobnytstvi teplovoyi enerhiyi v Ukraini. Praktychnyy posibnyk [Preparation and implementation of projects to replace natural gas with biomass in the production of heat energy in Ukraine] / za red. H. Heletukhy (2016). Kyiv: Polihraf plyus, 104.
5. Zinchenko, O. I. (2005). Kormovyrobnytstvo [Fodder production]. Kyiv: Vyshcha osvita, 448.
6. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy [State Statistics Service of Ukraine]. (2020). Available at: <http://www.ukrstat.gov.ua/metaopus/2020>.

7. Klyus, S.V. (2013). Vyznachennya chastky solomy ta roslynnnykh vidkhodiv dlya enerhetychnoho vykorystannya [Determining the share of straw and plant waste for energy use]. Vidnovlyuvana enerhetyka, 4, 82-85.

8. Serebrennikov, B., Petrova, K., Serebrennikov, S. (2023). Comprehensive Management of Electricity Demand Distribution in Time. Problemele Energetiii Regionale, 2(58), 26-41.

USING THE POTENTIAL OF PLANT FARMING TO STRENGTHEN THE ENERGY SECURITY OF TERRITORIAL COMMUNITIES

B. Serebrennikov, O. Sirikov, A. Kotysh, S. Serebrennikov

Abstract. *In Ukraine, there is a growing need to strengthen the reliability of energy supply at the regional level due to the development of effective strategies for developing and utilizing local bioenergy. Comparative analysis of territories by the bioenergetic potential of crops helps to identify the most productive of them and determine the drivers for establishing the bioenergetic potential of each territorial community (TC) in its inherent natural and climatic conditions.*

The study aims to increase the level of energy independence of TCs by determining the distribution of bioenergy potential and forecasting the bio-productivity of local crop production. In the example of 49 TCs of the Kirovohrad region, the amount of secondary plant material that can be obtained from arable land for biofuel production was evaluated. The statistical analysis was carried out for the pre-war period of 2019-2021, covering 12 key crops: spring and winter wheat and barley, rye, oats, rapeseed, millet, sunflower, corn, soybeans, and buckwheat.

The amount of collected non-productive part of the plants was determined indirectly, based on the correlational recalculation of statistical data on the gross crop yield. The distribution of energy biopotential among TCs was calculated as follows: the average yield of the grain part of crops over three years was determined based on the area of crops and the gross yield, from which, using correlation coefficients, the mass of unproductive plant parts was calculated; energy productivity of plants was assessed by calorific value; and, finally, net bio-productivity was determined, taking into account losses and non-energy use of bio-raw material.

The key crops were identified, and a map of the distribution of bioenergy resources was created for each TC. According to the map, wheat, corn, barley, sunflower, oats, and rye were the most energy-intensive for the steppe and forest-steppe. In particular, wheat and corn account for about 40...50 % of the total energy potential of plant biomass (gross). At the same time, the energy productivity of wheat exceeds that of corn by 35 % on average and that of sunflower by 90%. In most TCs, corn is almost twice as energy efficient as sunflower.

After considering the losses and costs of plant mass for non-energy needs, a refined map of the distribution of net bioenergy potential was created. Under such conditions, the leadership goes to corn, which surpassed wheat in terms of energy productivity by 16% in all TCs.

According to the adjusted distribution of net bioenergy potential, the three TCs lead with $E_{AV,N} = 1.27...1.36$ t.c.f./ha with priority crops: corn, wheat, sunflower, and soy. The lowest bioenergy potential has the three TCs with $E_{AV,N} = 0.85...0.99$ t.c.f./ha, although,

for certain crops (corn, sunflower, soy), they reach relatively high indicators (1.17...2.22 t.c.f./ha).

A comparison of the potentials of total $E_{AV} = 1.90$ t.c.f./ha and net $E_{AV.N} = 1.11$ t.c.f./ha reveals that the achievable bioenergy resource is only 52.5 % of the calculated one. Therefore, it is necessary to more actively implement the latest technologies to minimize losses and non-energy use of biomass.

Key words: *bioenergy resources, crops, energy productivity, territorial distribution of energy potential*