

МЕТОДИКА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ЗЕРНА

В. О. Компанієць, кандидат економічних наук;

О. І. Желязков, кандидат сільськогосподарських наук;

А. О. Кулик

Інститут сільського господарства степової зони НААН України

Описаний алгоритм визначення витрат сукупної енергії на виробництво зерна. Проаналізовані сучасні методики розрахунку показників енергетичної ефективності. Наведені нормативні розрахунки енергетичних та матеріально-грошових витрат на вирощування пшениці озимої. Визначені основні напрямки економії енергоресурсів у зерновиробництві.

Ключові слова: *сукупні енергетичні витрати, показники енергетичної ефективності, пшениця озима, попередники, урожайність, нормативні матеріально-грошові витрати, енергоємність, коефіцієнт енергетичної ефективності.*

Економічна та політична ситуація в Україні останнім часом викликала істотне загострення проблеми посилення економії енерговитрат в усіх без винятку галузях економіки.

Техніко-технологічний розвиток аграрного сектору країни, який передусім має здійснюватися на інтенсивній основі, неодмінно передбачає посилення ресурсо- та енергонасиченості технологій. У рослинництві перш за все – це збільшення вкладень високоякісних матеріально-технічних та грошових ресурсів в розрахунку на одиницю посівної площі. З огляду на це для порівняльної оцінки альтернативних технологій за рівнем енергонасиченості спиратися лише на економічні показники недостатньо. Тому для визначення резервів енергозбереження, зокрема у зерновиробництві, особливо актуальним є енергетичний аналіз.

Сільське господарство споживає енергію як з поновлюваних, так і непоновлюваних джерел. До прямих слід віднести витрати енергії палива, електроенергії тощо, до непрямих – витрати енергії на створення машин, добрив, хімікатів та інших матеріалів, які задіяні у виробничому процесі [1, 2]. Оцінити ступінь ефективності використання енергії для підтримання технологічних процесів у рослинництві можливо на основі визначення всіх енерговитрат, необхідних для виробництва конкретного виду продукції, та обсягу енергії, накопиченої в урожаї.

Розробкою методик енергетичної оцінки технологій та вивченням проблеми енергозбереження у сільськогосподарському виробництві займалися такі вчені, як С. С. Бакай, Н. С. Балаур, Є. І. Базаров, Є. В. Глінка, О. О. Жученко, П. І. Іваненко, М. О. Клименко, Т. М. Колесник, О. К. Медведовський [2], В. І. Перебийніс [7], О. Ф. Смаглий [8], Ю. О. Тараріко та ін. [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]. Наукові пошуки тривають і нині, оскільки проблема максимально ефективного використання енергії з непоновлюваних та поновлюваних джерел за умови економії матеріалізованої енергії й прямих витрат живої праці у сільському господарстві та рослинництві зокрема є надзвичайно актуальною.

Мета роботи – провести огляд методик енергетичної оцінки технологічних процесів у зерновиробництві, що є основою для подальшого визначення напрямків економії енергоресурсів та підвищення економіко-енергетичної ефективності галузі.

Як свідчать наукові дані [1–9], існує багато підходів визначення показників ефективності використання енергії при вирощуванні зернових культур.

Основою для розрахунку нормативних (планових) сукупних енергетичних витрат є технологічні карти. За ними встановлюють повний перелік робіт, а потім на підставі нормативних енергетичних еквівалентів розраховують витрати сукупної енергії за такими основними групами: машини і устаткування (основні засоби), авіація, насіння, добрива, пальне і мастила, електроенергія, засоби захисту рослин, жива праця тощо.

Найбільш складною частиною розрахунків є обчислення витрат сукупної енергії, які пов'язані із застосуванням техніки. З цією метою за технологічною картою визначають час

використання кожного виду сільськогосподарських машин і знарядь, який перемножують на масу машини та відповідний еквівалент сукупної енергії за 1 год експлуатаційного часу в розрахунку на 1 кг маси.

Розрахунок нормативних затрат сукупної енергії за іншими статтями, які пов'язані з використанням ряду оборотних засобів виробництва (насіння, добрива, паливо та ін.), здійснюють шляхом множення кількості витраченого на 1 га ресурсу, тобто норми висіву насіння, внесення добрив, витрати ПММ та електроенергії в розрахунку на гектар посівної площі тощо на відповідний енергетичний еквівалент.

Затрати сукупної енергії на трудові ресурси обчислюють як добуток відпрацьованого в розрахунку на 1 га часу основними й допоміжними категоріями працівників та енергетичного еквіваленту 1 люд-год відповідної категорії працівників. Загальні витрати сукупної енергії на 1 га визначають, виходячи з суми всіх перелічених статей.

Вміст валової енергії в одержаній з 1 га господарсько-цінній частині продукції розраховують множенням показника врожайності за стандартного рівня вологості, перерахованого на суху речовину за відповідним коефіцієнтом, на показник вмісту валової енергії в 1 кг сухої речовини відповідного виду продукції.

Показники витрат сукупної енергії в розрахунку на одиницю площі та вмісту валової енергії в продукції, отриманій з гектара посіву, застосовують для обчислення рівня біоенергетичної ефективності. Найбільш поширеним у науковій літературі є коефіцієнт енергетичної ефективності (K_{ee}), який визначають наступним чином:

$$K_{ee} = \frac{E_y}{E_a} , \quad (1)$$

де E_y – енергія, акумульована в урожаї, МДж/га. E_a – витрати антропогенної (непоновлюваної) енергії на вирощування і збирання врожаю, МДж/га.

Отже, за умови $K_{ee} > 1$ технологію вирощування можна вважати ефективною, оскільки вихід валової енергії перевищує витрачену сукупну непоновлювану енергію.

Враховуючи те, що агроєкосистеми є відкритими термодинамічними системами, функціонування яких тісно пов'язане з потоком сонячної фотосинтетично активної радіації (ФАР), було запропоновано визначити ще один показник енергетичної ефективності K_{ee}^* [6, 9], який відображає рівень продуктивності сільськогосподарського виробництва в розрахунку на одиницю сукупного енергетичного ресурсу агроєкосистеми:

$$K_{ee}^* = \frac{E_y}{E_r + Q_{\text{ФАР}} + E_a} , \quad (2)$$

де E_r – запас енергії в ґрунті, МДж/га. $Q_{\text{ФАР}}$ – сумарна ФАР за період вегетації, МДж/га.

Проміжним варіантом в оцінці господарсько-екологічної ефективності технологій і заходів сільськогосподарського виробництва є визначення біологічного коефіцієнта використання енергії:

$$\eta = \frac{E_y}{Q_{\text{ФАР}} + E_a} . \quad (3)$$

Цей показник свідчить про те, яка частка затрат сумарної антропогенної енергії та енергії ФАР акумулюється і перетворюється агроєкосистемою на сільськогосподарську продукцію [6].

Важливим кроком в оцінці енергетичної ефективності функціонування агроєкосистеми є коефіцієнт енерговіддачі агроєкосистеми – K_{ee}^{**} [8], який розраховують за залежністю:

$$K_{ee}^{**} = \frac{E_y}{E_a + E_a'} , \quad (4)$$

де E_a' – витрати антропогенної енергії на відновлення родючості ґрунту та підтримання його енергопотенціалу, МДж/га.

Для порівняльної оцінки ефективності технологій вирощування сільськогосподарських культур в різних ґрунтово-кліматичних умовах М. О. Клименко та Т. М. Колесник [6] рекомендують застосовувати коефіцієнт біологічної акумуляції природної енергії агроєко-системи:

$$K_{ee}^{PE} = \frac{E_y + E_a'}{E_z + Q_{\Phi Ap}} . \quad (5)$$

В чисельнику показано величину енергії, яка акумулюється в агроєко-системі (менша частина енергії зосереджується в органічній речовині ґрунту, а більша – в продукції рослинництва). У знаменнику відображено величину сукупної природної енергії, яку використовує агроєко-система для свого функціонування. У різних ґрунтово-кліматичних зонах ця величина буде суттєво відрізнятися.

Щоб оцінити ефективність впровадження певної агротехнології чи агрозаходу при вирощуванні деяких сільськогосподарських культур, необхідно додатково залучати коефіцієнт біологічної акумуляції антропогенної енергії агроєко-системи, який слід розраховувати за наступною формулою:

$$K_{ee}^{AE} = \frac{E_y + E_a'}{E_a} . \quad (6)$$

Величина K_{ee}^{AE} вказує на ефективність використання одиниці антропогенної енергії агроєко-системою. Якщо $K_{ee}^{AE} > 1$, то технологія вважається екологічно і енергетично ефектив-

1. Нормативні витрати енергії на вирощування пшениці озимої після різних попередників в розрахунку на 1 га та їхня структура залежно від рівня врожайності

Статті витрат	Одиниця виміру	Чистий пар			Зайнятий пар, зернобобові культури			Непарові попередники		
		врожайність, ц/га								
		40	50	65	30	40	50	25	35	40
Основні засоби	МДж	3701,8	4348,2	5255,4	2700,7	3289,4	3937,6	2367,6	3102,8	3401,3
	%	21,1	22,4	24,5	17,3	18,5	19,6	15,7	17,3	17,9
Жива праця	МДж	811,9	966,0	1194,1	579,8	730,5	885,5	506,2	650,4	725,3
	%	4,6	5,0	5,6	3,7	4,1	4,4	3,4	3,6	3,8
Паливно-мастильні матеріали	МДж	3972,9	4383,8	4948,1	2386,5	2750,1	3164,1	2260,1	2700,0	2877,4
	%	22,7	22,6	23,1	15,3	15,5	15,8	15,0	15,0	15,1
Насіння	МДж	3290,4	3290,4	3290,4	3619,4	3619,4	3619,4	3783,9	3783,9	3783,9
	%	18,8	17,0	15,4	23,2	20,3	18,1	25,1	21,1	19,9
Мінеральні добрива	МДж	5381,0	6024,0	6337,5	5919,5	7018,0	8053,5	5815,0	7326,0	7864,5
	%	30,7	31,1	29,6	38,0	39,5	40,2	38,5	40,8	41,3
Засоби захисту рослин	МДж	328,4	328,4	328,4	334,2	334,2	334,2	337,1	337,1	337,1
	%	1,9	1,7	1,5	2,1	1,9	1,7	2,2	1,9	1,8
Електроенергія	МДж	45,7	56,9	73,7	34,6	45,8	57,0	29,0	40,2	45,8
	%	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
Всього	МДж	17532,0	19397,7	21427,5	15574,6	17787,4	20051,3	15098,9	17940,4	19035,4
	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

ною, якщо $K_{ee}^{AE} < 1$, то її зараховують до числа невігідних. Даний показник може оцінювати як технології вирощування сільськогосподарських культур з метою отримання продукції, так і природоохоронні, головним завданням яких є відтворення родючості ґрунту, оскільки наведені вище показники унеможливають таку оцінку. При цьому найбільш енергетично вигідним варіантом є той, що поєднує в собі як господарську, так і екологічну ефективність.

Для здійснення економіко-енергетичної оцінки ефективності виробництва зерна на прикладі пшениці озимої, ми прийняли за основу науково обґрунтовану технологію, елементи якої розроблені науковцями Інституту сільського господарства степової зони для умов Дніпропетровської області, що територіально належить до зони північного Степу України. Нормативні витрати на вирощування розраховували відповідно до діючих методичних рекомендацій, виходячи з цін на матеріально-технічні ресурси станом на квітень – травень 2014 р.

Розрахунки показників витрат енергії та її вмісту в господарсько-цінній частині врожаю проводилися відповідно до описаної вище методики. При цьому коефіцієнт енергетичної ефективності визначали за формулою (1).

Аналіз структури витрат енергії на вирощування озимої пшениці показав, що найбільш енерговитратними є статті "Мінеральні добрива" (29–42 %), "Основні засоби" (15–25 %), "Паливно-мастильні матеріали" (15–23 %) та "Насіння" (15–25 %). При цьому витрати живої праці не перевищують 6 % у загальній структурі (див. табл. 1). Паралельне вивчення структури матеріально-грошових витрат для усереднених рівнів урожайності (табл. 2) свідчить, що найбільшу питому вагу при вирощуванні пшениці озимої займають експлуатаційні, зокрема, амортизація, витрати на ремонт техніки (18–22 %) і паливно-мастильні матеріали (12–18 %). Висока питома вага припадає і на мінеральні добрива – 20–26 %.

2. Нормативні матеріально-грошові витрати на вирощування пшениці озимої після різних попередників в розрахунку на 1 га та їхня структура залежно від рівня врожайності

Статті витрат	Чистий пар		Зайнятий пар, зернобобові культури		Непарові попередники	
	50 ц/га		40 ц/га		35 ц/га	
	витрати, грн	структура, %	витрати, грн	структура, %	витрати, грн	структура, %
Експлуатаційні витрати, у тому числі:	2906,1	42,6	1959,2	32,7	1910,0	32,9
- оплата праці	184,8	2,7	122,3	2,0	115,5	2,0
- амортизація та ремонт основних засобів	1501,7	22,0	1084,3	18,1	1050,5	18,1
- паливно-мастильні матеріали	1219,6	17,9	752,6	12,6	744,0	12,8
Насіння	334,8	4,9	368,3	6,2	385,0	6,6
Мінеральні добрива	1341,8	19,7	1575,8	26,3	1489,7	25,6
Засоби захисту рослин	434,7	6,4	439,5	7,3	441,8	7,6
Інші витрати	1806,4	26,5	1647,4	27,5	1585,7	27,3
Всього витрат	6823,8	100,0	5990,2	100,0	5812,3	100,0
Собівартість 1 т	1364,8	х	1497,6	х	1660,7	х

Ресурсо- та енергонасиченість технологій варіює залежно від різних факторів. Зокрема вибір попередника безпосередньо впливає на обсяг робіт, що виконуються машино-тракторними агрегатами. Так, розміщення пшениці по чистому пару потребує здійснення операцій з його культивування та боронування, а це додаткові енерговитрати за статтями "Основні засоби", "Жива праця" та "Паливно-мастильні матеріали". В той же час при вирощуванні пшениці по зайнятому пару, після зернобобових культур і, особливо, після непарових попередників істотно збільшується потреба в мінеральних добривах. Більша тут і норма висіву

насіння, що в свою чергу зумовлює додаткову потребу в засобах для його протруювання.

З іншого боку, нормативні витрати мають відповідати запланованому рівню врожайності. Так, для отримання більш високого рівня врожайності слід нарощувати дози внесення добрив (звісно, за науково обґрунтованими принципами). Додатково слід зазначити, що зі збільшенням рівня продуктивності гектара посівної площі підвищується потреба в енергії на стадії збирання та доробки продукції.

Про всі вищевказані відмінності в технологіях виробництва зерна пшениці озимої залежно від попередників наочно свідчать цифрові дані, наведені в таблицях 1 і 2.

Результати розрахунків (табл. 3) показують, що збільшення нормативних затрат антропогенної енергії на вирощування озимої пшениці окупається за рахунок підвищення продуктивності культури. Так, з підвищенням рівня урожайності спостерігається чітке зростання показника співвідношення обсягів енергії, акумульованої в урожаї, до енерговитрат: при вирощуванні пшениці по чистому пару – з 3,75 до 4,99; по зайнятому пару та після зернобобових – з 3,17 до 4,10; після непарових попередників – з 2,72 до 3,46.

3. Біоенергетична ефективність вирощування пшениці озимої після різних попередників залежно від рівня врожайності

Показник	Чистий пар			Зайнятий пар, зернобобові культури			Непарові попередники		
	урожайність, ц/га:								
	40	50	65	30	40	50	25	35	40
Затрати сукупної енергії на вирощування, ГДж/га	17,53	19,40	21,43	15,57	17,79	20,05	15,10	17,94	19,04
Накопичено сукупної енергії в урожаї, ГДж/га	65,81	82,26	106,94	49,36	65,81	82,26	41,13	57,58	65,81
Енергоємність 1 ц зерна, Мдж	438,3	388,0	329,7	519,2	444,7	401,0	604,0	512,6	475,9
Коефіцієнт енергетичної ефективності	3,75	4,24	4,99	3,17	3,70	4,10	2,72	3,21	3,46

На підставі експериментального та виробничого досвіду встановлено, що запроваджені технології потребують постійного удосконалення з позицій енергозбереження, безпосередньо економії паливних ресурсів, електроенергії, живої праці, а також витрат енергії, уречевлених в інших матеріально-технічних ресурсах. З іншого боку, енергетичний аналіз стає актуальним в умовах інфляції, оскільки уможливує проведення порівняльної оцінки альтернативних технологій виробництва зерна незалежно від політики ціноутворення на ресурси, що споживаються в технологічному процесі. Таким чином, біоенергетична оцінка, доповнюючи традиційні вартісні оцінки, дає змогу оцінювати вплив тих чи інших заходів на економію виробничих витрат і відкриває можливості для пошуку конкретних шляхів енерго-збереження на всіх етапах виробництва продукції.

Результати наших досліджень показали, що найбільший потенціал врожайності та найнижчий рівень енергоємності й собівартості зерна забезпечують технології з елементами інтенсифікації. Проте навіть ці фактори повинні використовуватися виважено. Наприклад, нарощування обсягів внесення мінеральних добрив має обмежуватися гранично допустимим рівнем, в межах якого внесення добрив забезпечує технологічний, енергетичний та економічний ефект, а застосування засобів захисту рослин слід обов'язково проводити з врахуванням порогу шкодочинності патогенних організмів.

Рівень ефективності використання поновлюваної та непоновлюваної енергії істотно залежить від якості сортових ресурсів: генетичного потенціалу, рівня екологічної стійкості, здатності ефективно використовувати запаси вологи, світлової та теплової

енергію тощо.

Значний резерв енергозбереження полягає також у впровадженні високопродуктивних новітніх технічних засобів, за рахунок яких можливо економити паливе, електроенергію та інші експлуатаційні витрати в розрахунку на гектар посіву.

У той же час з позицій екологічного імперативу, яким зараз має керуватися кожен виробник, надзвичайно актуальним стає впровадження ресурсозбережних технологій з елементами біологізації. У цьому відношенні для значної кількості господарств доцільно спиратися на рекомендації з мінімізації обробітку ґрунту, впровадження технологій прямого посіву на придатних для цього ґрунтах тощо. Екологічна безпечність виробничої діяльності та отриманої продукції – визначальний критерій, який обов'язково треба враховувати при розробці та впровадженні інноваційних технологій виробництва.

Науковий досвід свідчить, що при впровадженні енергоощадних технологій і новітніх технічних засобів можна скоротити питоме споживання енергоресурсів на 25–30 %.

Таким чином, для всебічної оцінки альтернативних технологій виробництва зерна, особливо в умовах інфляції, поряд з економічним слід здійснювати енергетичний аналіз. Крім показника енергетичної ефективності, який визначають як відношення енергії, акумульованої в урожаї, до витрат антропогенної (непоновлюваної) енергії на вирощування та збирання врожаю, доцільним є введення додаткових коефіцієнтів, що враховують запаси енергії в ґрунті, величину сумарної фотосинтетичної радіації за період вегетації, витрати антропогенної енергії на відновлення родючості ґрунту та підтримання його енергопотенціалу тощо.

Головні напрямки зменшення енергоємності продукції – це поліпшення якості застосовуваних ресурсів та оптимізація їхніх витрат в розрахунку на одиницю площі. Поряд з інтенсивними технологіями особливо актуальними є ресурсозбережні з елементами біологізації. Усі впроваджувані технології повинні відповідати вимогам екологічної безпеки.

Управлінські рішення, що приймаються на підприємстві, мають обов'язково враховувати енергетичний аспект. В умовах тотальної економічної та енергетичної кризи – це запорука підвищення енергетичної безпеки підприємства та забезпечення конкурентоспроможності аграрного виробництва.

Бібліографічний список

1. Методические рекомендации по биоэнергетической оценке гибридов кукурузы / Под общ. ред. В. С. Шевелухи, С. С. Бакая; ВНИИ кукурузы. – М., 1988 – 40 с.
2. *Медведовський О. К.* Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві / *О. К. Медведовський, П. І. Іваненко.* – К.: Урожай, 1988. – 208 с. – (Економія і бережливість).
3. *Балаур Н. С.* Применение энергетического анализа оценки эффективности технологий воз-дельвания полевых культур / *Н. С. Балаур, А. В. Тетю;* Молд. НШНТИ. – Кишинев, 1983. – 23 с.
4. Методика биоэнергетической оценки технологий производства продукции растениеводства / *Е. И. Базаров, Е. В. Глинка, Л. А. Мамонтова* [и др.]; под общ. ред. *Е. И. Базарова, Е. В. Глинка;* Всесоюзн. акад. с.-х. наук. – М., 1983. – 45 с.
5. *Жученко А. А.* Энергетический анализ в сельском хозяйстве: методологические и методические рекомендации / *А. А. Жученко.* – Кишинев: Штиинца, 1988. – 128 с.
6. *Клименко М. О.* Енергетична оцінка господарсько-екологічної ефективності технологій вирощування сільськогосподарських культур / *М. О. Клименко, Т. М. Колесник* // Вісн. нац. ун-ту водного господарства та природокористування: зб. наук. пр. – Вип. 1 (41). – Рівне, 2008. – С. 31–39.
7. *Перебийніс В. І.* Управління енергетичною ефективністю рослинництва / *В. І. Перебийніс* // Економіка АПК. – 2003. – № 5. – С. 14–17.

8. Агроекологія: навч. посібник / *О. Ф. Смаглій, А. Т. Кардашов, П. В. Литвак* [та ін.]. – К.: Вища освіта, 2006. – 617 с.
9. *Тараріко Ю. О.* Енергетична оцінка систем землеробства і технологій вирощування сільськогосподарських культур: методичні рекомендації / *Ю. О. Тараріко*. – К.: Нора-прінт, 2001. – 60 с.