

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ АГРОТЕХНОЛОГІЙ КОРОТКОРОТАЦІЙНИХ СІВОЗМІН

М. В. ВОЙТОВИК, кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
<https://orcid.org/0000-0002-6943-3213>

О. Б. ПАНЧЕНКО, кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
<https://orcid.org/0009-0008-5087-5311>

Білоцерківський національний аграрний університет

О. А. ЦЮК, доктор сільськогосподарських наук, професор,
<https://orcid.org/0000-0001-8789-522x>

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Ю. Г. МІЩЕНКО, доктор сільськогосподарських наук, доцент,
<https://orcid.org/0000-0002-5942-9288>

Сумський національний аграрний університет

E-mail: zemlerobstvo_@ukr.net

[https://doi.org/10.31548/dopovidi5\(105\).2023.007](https://doi.org/10.31548/dopovidi5(105).2023.007)

Анотація. На сьогодні використання енергоресурсів набуває все більшої актуальності, розвиток сільського господарства характеризується постійним збільшенням використаної енергії за обробітку ґрунту, засобів захисту, органічних і мінеральних добрив, збирані врожаю. Мета досліджень дослідити вплив систем удобрення і основного обробітку ґрунту на процеси енергетичної ефективності технології вирощування культур короткоротаційної сівозміни та аналізу енергетичних витрат. У процесі досліджень були використані наступні методи: під час експерименту використовували польовий, розрахунково-порівняльний, математично-статистичний методи з використанням загальноновизнаних методик і методичних рекомендацій. Представлено результати наукових досліджень на чорноземі типовому в чотирьох п'ятипільних сівозмінах. Дослідження виявили, що найвищий вихід енергії за мінеральної системи удобрення (8 т гною + $N_{68}P_{72}K_{82}$) спостерігався у зернопросапній сівозміні 99,8 ГДж/га, за органо-мінеральної за внесення 8 т + $N_{27}P_{38}K_{45}$ + 3,5 т побічна продукція і сидеральна маса у плодозмінній – 104,5 ГДж/га. Коефіцієнт енергетичної ефективності (K_{ee}) був найвищим за органічної системи удобрення у зернопросапній – 5,7, зернопросапній спеціалізованій – 4,3, просапній – 5,8, плодозмінній – 4,7, застосування органо-мінеральної системи удобрення значно знизився цей показник у зернопросапній – 3,7, просапній – 3,4, плодозмінній – 4,1. Полицево – безполицевий і диференційований обробіток ґрунту забезпечили коефіцієнт енергетичної ефективності на рівні зернопросапній сівозміні 4,9 – 5,0, зернопросапна спеціалізована – 3,6, просапна – 4,7. Матеріали дослідження мають практичне значення для аграріїв аналізу енергетичної ефективності короткоротаційних сівозмін на чорноземах типових.

Ключові слова. *обробіток ґрунту, система удобрення, коефіцієнт енергетичної ефективності, вихід енергії, енергетичні витрати*

Актуальність. В умовах ринкової економіки питання раціонального використання енергетичних ресурсів, впровадження енергетично ощадливих і високоефективних агротехнологій набувають особливого значення. Енергетична ефективність вирощування сільськогосподарських культур залежить від низки чинників, серед яких агрохімічні та агротехнічні заходи є визначальними в досягненні сталого енергетичного балансу [8, 13]. Відношення енергії врожаю до зазначених енергетичних витрат лежить в основі коефіцієнта енергетичної ефективності, який нині є найбільш вживаним індикатором у проведенні розрахунків енергетичного балансу [5].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Найбільш вагомим елементом агротехнологій, який впливає на перебіг енергетичних потоків в агроєкосистемах, регулює інтенсивність процесів фотосинтезу, визначає їхню енергетичну ефективність є система удобрення. Використання систем удобрення сприяє нормувати обсяги надходження енергії в ґрунт, впливає на її перерозподіл та зберігання. Формування сталих засад аграрного виробництва на сьогодні неможливе без запровадження енергоощадних і екологічно спрямованих систем

удобрення, які забезпечують енергетичну стабільність агроєкосистем [4, 7, 13].

За даними Комісії з харчування ООН (ФАО), частка добрив у формуванні врожаю становить 30–50 %, а в прирості врожаю – 50–70 %. В Україні цей показник коливається в межах від 30 до 40 %, який, у свою чергу, залежить від клімату, родючості ґрунту, рівня агротехніки, норм і якості добрив та інших факторів [2]. Затрати на застосування добрив знаходяться в межах 10–25 % від загальних затрат. Для вибору та впровадження у виробництво найефективніших норм, форм, способів і строків внесення добрив необхідна їх економічна оцінка [3].

У комплексі заходів, направлених на зменшення сукупних витрат енергії важлива роль відводиться обробітку ґрунту. На обробіток ґрунту припадає 30-40% всіх трудових витрат при вирощуванні сільськогосподарських культур. На нашу думку такі високі витрати пояснюються тим, що автор оцінює не один агроприйом, а всю систему основного, передпосівного обробітку та догляду за посівами [9, 12].

Мета досліджень – дослідити вплив систем удобрення і основного обробітку ґрунту на процеси енергетичної ефективності технології

виращування культур короткоротаційної сівозміни та аналізу енергетичних витрат.

Матеріали і методи досліджень.

Дослідження проводилось упродовж 2012-2021 рр. на дослідному полі Білоцерківського національного аграрного університету, що територіально розташовується у зоні недостатнього зволоження Лісостепу. Ґрунт дослідного поля представлений чорноземом типовим малогумусним середньосуглинковим з вмістом гумусу в 0-30 см шарі 3,7-3,9%.

Короткоротаційні сівозміни мали наступне чергування: плодозмінна:

До короткоротаційних сівозмін входили такі культури: люцерна – пшениця озима – буряки цукрові і соняшник – гречка – ячмінь з підсівом люцерни; зернопросапна: соя – пшениця озима – соняшник – ячмінь – кукурудза на зерно; зернопросапна спеціалізована: гречка – пшениця озима – кукурудза на зерно, соняшник – ячмінь – соняшник; просапна: горох – пшениця озима – соняшник – кукурудза на зерно – соняшник.

Площа посівної ділянки 171 м², облікової – 112 м², повторність – 3-разова.

Фактор А (система основного обробітку ґрунту):

1. Диференційований (контроль) – проведення полицевого обробітку ґрунту у полях буряків цукрових і соняшнику, під пшеницю озиму,

одного мілкого безполицевого обробітку під гречку та один раз чизельного обробітку під ячмінь;

2. Полицево-безполицевий – проведення за ротацію сівозміни 1 раз різноглибинної оранки під просапні культури, два рази мілкого безполицевого обробітку під пшеницю озиму і гречку та 1 раз – чизельного обробітку під ячмінь;

3. Мілкий безполицевий – проведення обробітку ґрунту дисковими знаряддями на глибину 10-12 см під усі культури сівозміни.

Фактор В (система удобрення):

1. Нульовий рівень – без добрив;
2. Органічна – внесення на 1 га 8 т та 3,0 т нетоварної частини врожаю, маси пожнивних сидератів на гектар сівозмінної площі. Норма органічних добрив визначена за необхідністю позитивного балансу гумусу;

3. Органо-мінеральна – для відтворення родючості ґрунту пріоритетне використання органічних добрив, внесення 8 т гною на 1 га сівозмінної площі і 3,5 т маси післяжнивних сидератів, нетоварної частини врожаю, внесення 110 кг (N₂₇P₃₈K₄₅) мінеральних добрив;

4. Мінеральна – для відтворення родючості ґрунту внесення на 1 га сівозмінної площі 8 т гною і 222 кг (N₆₈P₇₂K₈₂) мінеральних добрив.

Під час експерименту використовували польовий, розрахунково-порівняльний, математично-статистичний методи з використанням загальновизнаних

методик і методичних рекомендацій [11, 12].

Одержані результати дали змогу розрахувати коефіцієнт енергетичної ефективності як по органічній, органо-мінеральній, так і по мінеральній, системах удобрення відношенням загальної кількості енергії, яка витрачалась у сівозміні згідно з технологічним операціям, системам удобрення й обробітку ґрунту, до загальної кількості одержаної енергії у вигляді продукції рослинництва, відношенням загальної кількості одержаної енергії до її витрат, що дає змогу оцінити ефективність досліджених систем удобрення й обробітку ґрунту.

Результати досліджень та їх обговорення. Вивчення впливу систем удобрення та обробітку ґрунту на енергетичну ефективність нами проводилось в умовах зерно-просапних сівозмін. В основу енергетичної оцінки було взято коефіцієнт енергетичної продуктивності (К_е), який є узагальнювальним показником і показує співвідношення енергомісткості врожаю до витрат техногенної енергії на його отримання. Енергетичний аналіз показав, що плодозмінна сівозміна суттєво підвищує вихід енергії як по органо – мінеральній, так і по мінеральній системі удобрення (табл.).

У плодозмінній сівозміні від застосування органо-мінеральної

системи удобрення вихід енергії з урожаєм становив 104,5 ГДж/га, що було значно більше від зернопросапної на 13,8 ГДж/га, зернопросапної спеціалізованої на 39,8 ГДж/га і просапної на 29,3 ГДж/га.

По мірі збільшення норми мінеральних добрив зростає вихід енергії з врожаєм у всіх сівозмінах.

Від застосування мінеральної системи удобрення вихід енергії у зернопросапній сівозміні становив 99,8 ГДж/га, плодозмінної – 99,3 ГДж/га, що обумовлено впливом біологічного азоту, який підвищує вихід продукції рослинництва і вихід енергії. На тлі застосування органо – мінеральної системи удобрення за зернопросапної сівозміни було одержано 90,7 ГДж/га енергії у вигляді продукції рослинництва, що значно вище від зернопросапної спеціалізованої на 26 ГДж/га, просапної на 12,5 ГДж/га. Застосування на варіантах лише органічних добрив спостерігається суттєве зниження виходу енергії в усіх чотирьох сівозмінах. Так, за органічної системи удобрення вихід енергії значно нижчий на 23,3 ГДж/га у плодозмінній сівозміні, на 15,5 ГДж/га у зернопросапній, на 7,7 – 75,2 ГДж, зернопросапної спеціалізованої – 57,0 ГДж і 73,2 ГДж – просапної порівняно з органо-мінеральною системою.

Показники енергетичної ефективності короткоротаційних сівозмін, (2012-2021)

Сівозміна	Середнє по системах удобрення і обробітку грунту	Вихід енергії з урожаєм, ГДж/га	Всього витрат, ГДж/га	Коефіцієнт енергетичної ефективності (К _{еє})
1	2	3	4	5
Плодозміна	Диференційований (конт.)	89,1	20,8	4,4
	Полицево – безполицевий	88,9	20,7	4,4
	Мілкий безполицевий	84,8	19,6	4,8
	Без добрив	65,4	15,1	4,6
	Органічна	81,2	16,3	4,7
	Органо–мінеральна	104,5	24,4	4,1
	Мінеральна	99,3	25,7	4,7
Зернопросапна	Диференційований (конт.)	87,0	19,4	4,9
	Полицево–безполицевий	86,6	19,9	5,0
	Мілкий безполицевий	71,2	18,7	4,3
	Без добрив	60,7	12,8	5,6
	Органічна	75,2	15,1	5,7
	Органо–мінеральна	90,7	25,1	3,7
	Мінеральна	99,8	24,4	4,1
Зернопросапна спеціалізована	Диференційований (конт.)	63,1	20,2	3,6
	Полицево–безполицевий	62,9	20,3	3,6
	Мілкий безполицевий	54,7	19,7	3,3
	Без добрив	49,2	14,4	4,1
	Органічна	57,0	16,3	4,3
	Органо–мінеральна	64,7	24,1	2,8
	Мінеральна	70,1	25,4	2,7
Просапна	Диференційований (конт.)	80,0	21,1	4,7
	Полицево–безполицевий	79,7	20,8	4,7
	Мілкий безполицевий	70,0	20,5	4,4
	Без добрив	66,0	15,6	4,6
	Органічна	73,2	16,2	5,8
	Органо–мінеральна	78,2	25,8	3,4
	Мінеральна	88,7	25,6	3,7

Найвищий вихід енергії у середньому по сівозмінах зафіксовано за плодозмінної – 87,6 ГДж/га, за зернопросапної було менше на 6 ГДж/га, за зернопросапної спеціалізованої на 27,4 ГДж/га і

просапної менше на 11,1 ГДж/га порівняно з плодозмінною сівозмінною.

У плодозмінній сівозміні на фоні диференційованого обробітку вихід енергії становив 89,1 ГДж/га, що було

на 2,1 ГДж/га більше від зернопросапної, на 26 ГДж/га від зернопросапної спеціалізованої і на 9,1 ГДж/га від просапної сівозміни. Найнижчий вихід енергії у всіх сівозмінах спостерігали на фоні мілкого безполицевого обробітку ґрунту, що пов'язано із зниження врожаю.

Орґано – мінеральна система удобрення, яка заснована на застосуванні мінеральних добрив і органічних добрив 11,5 т сівозмінної площі (гній, сидеральна маса, побічна продукція) за енергоємністю виявилася приблизно такого самого рівня, як і за застосування лише мінеральних добрив і 8 т гною у сівозмінах.

Енерговитрати більшою мірою у вигляді технічних засобів і пального пов'язані з органічними і мінеральними добривами, що вказує на досить високу енергетичну ціну.

Важливим показником є порівняння вмісту енергії в урожаї культури, з витраченою енергією на вирощування. Коефіцієнт енергетичної ефективності культур змінювався щорічно упродовж двох ротаций. За економність енерговитрат ефективнішим серед систем удобрення виявився варіант із внесення лише органічних добрив. Коефіцієнт енергетичної ефективності за органічної системи удобрення у просапній сівозміні становив 5,8, що на 56,7% більше від мінеральної системи удобрення. У

зернопросапної спеціалізованій сівозміні за органічної системи удобрення коефіцієнт енергетичної ефективності становив 4,3 що на 59,2 % перевищив мінеральну систему удобрення.

Енергетично ефективним виявилися варіанти диференційованого та полицево – безполицевого обробітків. Мілкий безполицевий обробіток виявився енергетично менш ефективним, що пояснюється нижчою урожайністю досліджених культур у всіх короткоротаційних сівозмінах.

Згідно класифікації Ю.О Тараріко [10], за коефіцієнт енергетичної ефективності >8 – дуже висока; 6,8 – висока; 4-6 – середня; 2-4 ефективність низька; <2 – виробництво неефективне.

Вирощування культур плодозмінної, зернопросапної і просапної сівозміни за всіх варіантів обробітку ґрунту характеризується як середньоефективна, а за зернопросапної спеціалізованої як низькоефективна.

За вирощування сільськогосподарських культур у плодозмінній і зернопросапної сівозмінах за всіх систем удобрення характеризується як середньоефективне.

У просапній і зернопросапній спеціалізованої сівозміні за орґано – мінеральної і мінеральної системи удобрення вирощування культур

характеризується як низько – ефективне.

Коефіцієнт енергетичної ефективності на варіантах систем удобрення із

збільшенням енерговитрат зменшується.

Це означає, що малозатратні варіанти удобрення (гній, сидерати, побідна продукція) будуть енергетично вигідними, а більше затратні із застосуванням засобів захисту, мінеральних добрив енергоємні. Кожна одинця додаткових витрат окупається все меншою віддачою у вигляді енергії врожаю.

Найвищий вихід енергії забезпечувана плодозмінна сівозміна, у структурі якої люцерна займає – 20 %, соняшник – 10 %, буряки цукрові – 10 %, у середньому по сівозміні він становив 87,6 ГДж на 1 га ріллі.

Дещо нижчий вихід енергії забезпечила зернопросапна сівозміна,

Список використаних джерел

1. Бегей С.С., Марцінко Т.І. Вплив способів основного обробітку ґрунту та систем удобрення на енергетичну ефективність кормової сівозміни. Передгірне та гірське землеробство. 2016. Вип. 60. С. 3-8.

2. Вожегова Р., Гальченко Н., Котельников Д., Малярчук В. Енергетична ефективність технології вирощування сільськогосподарських культур на зрошуваних землях півдня України. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2021. Вип. 28 (42). С. 272-281.

у структурі якої соя займає 20 %, соняшник – 20 %, ячмінь – 20 %, у середньому по сівозміні – 84,6 ГДж/га.

Висновки і перспективи.

Найвищий коефіцієнт енергетичної ефективності забезпечували органічна і органо – мінеральна система удобрення. У середньому за роки досліджень $K_{се}$ у зернопросапній сівозміні становив 5,7, зернопросапній спеціалізований – 4,3, просапній – 5,8. Полицево – безполицевий і диференційований обробіток ґрунту забезпечили коефіцієнт енергетичної ефективності на рівні зернопросапній сівозміні 4,9 – 5,0, зернопросапна спеціалізована – 3,6, просапна – 4,7. Найбільший вихід енергії за мінеральної системи удобрення спостерігався у зернопросапній сівозміні 99,8 ГДж/га, за органо – мінеральної у плодозмінній – 104,5 ГДж/га.

[http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2021-1-28\(42\)-23](http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2021-1-28(42)-23)

3. Глущенко Л.Д., Калініченко С.М., Дорошенко Ю.І., Білан В.М., Запорожець Л.М., Біланович О.Л. Економічна та енергетична ефективність застосування різних систем удобрення під пшеницю озиму на чорноземі типовому. Вісник ПДАА. 2012. 1. С. 37-39.

4. Іваніна В. В. Енергетична ефективність агротехнологій за різних систем удобрення зерно бурякової сівозміни. Цукрові буряки. 2017. № 6 (90). С. 17–19.

5. Іваніна В. В. Роль добрив в підвищенні енергетичної ефективності

Войтовик М. В., Панченко О. Б., Цюк О. А., Міщенко Ю. Г.

агротехнологій. Вісник аграрної науки. 2013. № 3. С. 20–24.

6. Медведовський О. К., Іваненко П. І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. Київ : Урожай, 1988. 208 с.

7. Польовий В. М. Оптимізація систем удобрення у сучасному землеробстві. Рівне: Волинські обереги, 2007. 320 с.

8. Стоцька С. Біоенергетична оцінка технології вирощування конюшини лучної на листостеблову масу в умовах Полісся. Вісник Львівського національного аграрного університету. Сер. Агрономія. 2013. № 17 (2). С. 392–397.

9. Танчик С. П., Цюк О. А., Центилю Л. В. Наукові основи систем землеробства. Вінниця : Нілан, ЛТД, 2015. 314 с.

10. Тараріко О.Ю., Несмашна О.Ю., Бердніков О.М., Глущенко Л.Д., Личук І.І., Кузьменко Ю.І., Величко В.А., Жилкін В.А., Андрійченко О.А., Біоенергетична оцінка сільськогосподарського виробництва. К.: Аграрна наука, 2005. 200 с.

11. Тараріко Ю. О., Несмашна О. Є., Глущенко Л. Д. Енергетична оцінка систем землеробства і технологій вирощування сільськогосподарських культур. Київ : Нора-прінт, 2011. 60 с.

12. Цвей Я. П. Біоенергетична оцінка продуктивності різноротаційної сівоzmіни. Наук. праці Ін-ту біоенергетичних культур і цукрових буряків : Зб. наук. пр. 2012. Вип. 12. С. 46–54.

13. Центилю Л. В., Цюк О. В., Мельник В.І. Енергетична ефективність систем удобрення і обробітку ґрунту. Біоресурси і природокористування. 2019. Том. 11. №3-4. С. 90-96.

<https://doi.org/10.31548/bio2019.03.010>

Reference

1. Behei S.S., Martsinko T.I. (2016). The influence of methods of basic tillage and fertilization systems on the energy efficiency of forage crop rotation. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo*. 60, 3-8. (in Ukrainian)

2. Vozhehova R., Halchenko N., Kotelnikov D., Maliarchuk V. (2021). Energy efficiency of the technology of growing agricultural crops on irrigated lands of the south

of Ukraine. *Tekhniko-tekhnologichni aspekty rozvytku ta vyprobuvannya novoi tekhniki i tekhnologii dlia silskoho hospodarstva Ukrainy*, 28 (42), 272-281. (in Ukrainian)

3. Hlushchenko L.D., Kalinichenko S.M., Doroshenko Yu.I., Bilan V.M., Zaporozhets L.M., Bilanovych O.L. (2012). Economic and energy efficiency of application of different fertilization systems for winter wheat on typical chernozem. *Visnyk PDAA*, 2012, 1, 37-39. (in Ukrainian)

4. Ivanina V. V. (2013). The role of fertilizers in increasing the energy efficiency of agrotechnologies. *Visnyk ahranoi nauky*, 3, 20–24. (in Ukrainian)

5. Ivanina V. V. (2017). Energy efficiency of agrotechnologies in different fertilizer systems of grain-bucket crop rotation. *Tsukrovi buriaky*, 6(90), 17–19. (in Ukrainian)

6. Medvedovskyi, O. K., & Ivanenko, P. I. (1988). Energy analysis of intensive technologies in agriculture. Kyiv: Urozhai, 208. (in Ukrainian)

7. Polovyi V. M. (2007). Optimization of fertilizer systems in modern agriculture. Rivne: Volynski oberehy, 320. (in Ukrainian)

8. Stotska S. (2013). Bioenergetic evaluation of meadow clover cultivation technology for leaf-stem mass in the conditions of Polissia. *Seriia Ahronomiia*, 17 (2). 392–397. (in Ukrainian)

9. Tanchyk S. P., Tsiuk O. A., & Tsentylo L. V. (2015). Scientific fundamentals of agricultural systems. Vinnytsia: Nilan-LTD. (in Ukrainian)

10. Tarariko Yu. O., Nesmashna O. Yu., Berdnikov O. M., Hlushchenko L. D., Lychuk H. I. et al. (2005). Bioenergy evaluation of agricultural production. Kyiv: Ahrarna nauka, 200. (in Ukrainian)

11. Tarariko Yu. O., Nesmashna O. Ye., Hlushchenko L. D. (2011). Energy assessment of farming systems and crop cultivation technologies. Kyiv : Nora-print, 60. (in Ukrainian)

12. Tsvei, Ya. P. (2012). Scientific papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, 12, 46–54. (in Ukrainian)

13. Tsentylo L. V., Tsiuk O. V., Melnyk V.I. (2019). Energy efficiency of fertilization and tillage systems. Tom. 11, 3-4. 90-96. . (in Ukrainian)

ENERGY EFFICIENCY OF AGROTECHNOLOGIES OF SHORT ROTATION CROP ROTATIONS

M. V. Voitovyk, O. B. Panchenko, O. A. Tsyuk, Y. G. Mishchenko

Abstract. Today, the use of energy resources is becoming more and more relevant, the development of agriculture is characterized by a constant increase in the energy used for soil cultivation, protective equipment, organic and mineral fertilizers, and harvesting. The purpose of the research is to investigate the influence of fertilization systems and the main tillage on the processes of energy efficiency of the technology of growing short-rotation crops and the analysis of energy costs. The following methods were used in the research process: during the experiment, field, calculation-comparative, mathematical-statistical methods were used using generally recognized methods and methodical recommendations. The results of scientific research on typical chernozem in four five-field crop rotations are presented. The research revealed that the highest energy output under the mineral fertilization system (8 t of manure + $N_{68}P_{72}K_{82}$) was observed in the grain-row crop rotation of 99.8 GJ/ha, under the organo-mineral system with the application of 8 t + $N_{27}P_{38}K_{45}$ + 3.5 t of by-products and siderable mass in crop rotation - 104.5 GJ/ha. The coefficient of energy efficiency (Kee) was the highest under the organic fertilization system in the grain-rowing system - 5.7, the specialized grain-rowing system - 4.3, the row-row system - 5.8, the crop-rotation system - 4.7, the use of the organo-mineral fertilization system significantly decreased this indicator in the grain-rowing system - 3.7, rowing - 3.4, crop rotation - 4.1. Shallow - no-shallow and differentiated tillage provided the coefficient of energy efficiency at the level of grain-row crop rotation of 4.9 - 5.0, grain-row specialized - 3.6, row-row - 4.7. Research materials are of practical importance for agrarians in analyzing the energy efficiency of short-rotational crop rotations on typical chernozems.

Keywords. tillage, fertilization system, energy efficiency coefficient, energy output, energy costs