

УДК 631.51/.8: 620.9.003.13

## ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ І ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

**Л. В. ЦЕНТИЛО**, кандидат сільськогосподарських наук

**О. А. ЦЮК**, доктор сільськогосподарських наук, професор

<https://orcid.org/0000-0001-8789-522X>

**В. І. МЕЛЬНИК**, кандидат сільськогосподарських наук, доцент

<http://orcid.org/0000-0002-8782-1236>

**Національний університет біоресурсів і природокористування України**

E-mail: [agrokolos@i.ua](mailto:agrokolos@i.ua)

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

Обґрунтовано енергетичну ефективність десятипільної польової сівозміни залежно від досліджуваних варіантів, виходу енергії з урожаєм та енергетичних затрат.

Мірилом енергетичної ефективності технологій вирощування культур у сівозміні є коефіцієнт енергетичної ефективності, який є відношенням вмісту всієї енергії у вирощуваній продукції до кількості не поновлюваної енергії витраченої для її вирощування.

Представлено результати наукових досліджень на чорноземі типовому глибокому у зоні Лісостепу в десятипільній сівозміні. Дослідження виявили, що застосування компост 4,5 т + N80P96K108 вихід енергії з урожаєм у системі удобрення досягав 134,6 ГДж/га, за органо-мінеральної за внесення компост 4,5 т + N40P48K54 + 3,5 т побічна продукція і сидеральна маса – 129,0 ГДж/га, що на 107 і 98,4 % відповідно перевищує показники варіанту без застосування добрив. Коефіцієнт енергетичної ефективності (К<sub>е</sub>) був найвищим за неудобреного фону – 7,3, за органо-мінеральної – 6,9, мінеральної – 6,1. Підвищені дози добрив застосовані у варіантах досліді підвищують вихід енергії з урожаєм. Зниження дози добрив суттєво зменшує вихід енергії і коефіцієнт енергетичної ефективності.

Найвищий вихід енергії з урожаєм 134,6 ГДж/га зафіксовано за мінеральної системи удобрення. Заорювання за органо-мінеральної системи удобрення післяжнивних решток усіх культур та сидеральної маси забезпечує вихід енергії з урожаєм 129 ГДж/га за К<sub>е</sub> 6,9, що істотно перевищує контроль. Зниження дози добрив суттєво зменшує вихід енергії врожаєм і коефіцієнт енергетичної ефективності.

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

**Актуальність.** У сучасному землеробстві досить актуальними стають питання пов'язані з мінімізацією енергетичних витрат на вирощування сільськогосподарської продукції (Іваніна В. В., 2017, Цвей Я. П., 2011).

На думку ряду авторів (Польовий В. М., 2007, Татарико Ю. А., 2007), формування сталих засад аграрного виробни-

цтва, сьогодні не можливе без запровадження енергоощадних і екологічно сформованих систем удобрення. Ряд дослідників вважає, що сучасні агротехнології повинні забезпечувати енергетичну стабільність ґрунтів, тим самим зберігаючи їх енергетичний потенціал для майбутніх поколінь, і досягти за цих умов міні-

мальних енергетичних витрат на отримання одиниці продукції (Рогальський С. В., 2001, Сінченко В. М., 2004).

Вибір системи удобрення дозволяє регулювати потоки енергії у системі ґрунт – рослина, впливає на інтенсивність процесів фотосинтезу нормує обсяги надходження сонячної енергії в ґрунт, визначає характер її перерозподілу та зберігання (Бука А. Я., Дружченко А. В., 2002, Іваніна В. В., 2013).

Високу оцінку технології вирощування культур сівозміни дає показник виходу енергії з урожаєм сільськогосподарських культур. Здатність культурних рослин засвоювати органічну речовину за допомогою процесу фотосинтезу це залежить від генетичного потенціалу рослин та його удобрення (Камінський В. Ф., 2015).

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 агроприєм, а всю систему основного, передпосівного обробітку та догляду за посівами (Медведовський О. К., Іваненко П. І., 1988, Танчик С. П., Цюк О. А., Центилю Л. В., 2015, Цвей Я. П., 2012, Цюк А. А., 2013).

Згідно з результатами досліджень, на Верхняцької дослідної станції, енергетично найефективнішим є внесення половинної норми мінеральних добрив  $N_{50}P_{42,5}K_{50}$  і побічної продукції, де Кеє дорівнював 5,5. Застосування лише мінеральних добрив  $N_{50}P_{42,5}K_{50}$  знижувало продуктивність сівозміни, внесення мінеральних добрив сумісно із органічними ( $N_{50}P_{42,5}K_{50} + 12$  т/га гною) зафіксовано суттєве підвищення енерговитрат, як наслідок, відбулося зниження коефіцієнта енергетичної ефективності до 4,5 (Іваніна В. В., 2016).

**Мета досліджень** – встановити енергетичну ефективність десятипільної сівозміни залежно від системи обробітку ґрунту і удобрення, виходу енергії з урожаєм та енергетичних витрат.

**Матеріали та методи досліджень.** Дослідження виконано на дослідному полі Навчально-науково-інноваційному центрі агротехнологій ТОВ «Агрофірма Колос» (2011 – 2017 рр.) Сквирського району Київської області у стаціонарному досліді, у десятипільній сівозміні. Ґрунт дослідного поля – чорнозем типовий глибокий крупнопилувато-середньосуглинковий на лесі. Уміст гумусу в оброблювальному шарі 4,6–4,8 % (за Тюриним), легкогідролізованого азоту (за Корнфілдом) – 14,4 мг/100 г ґрунту, рухомого фосфору (за Чиріковим) – 15,2 мг/100 г ґрунту, обмінного калію – 15,2 мг/100 г ґрунту (за Чиріковим). Об’ємна маса ґрунту в рівноважному стані – 1,24 г/см<sup>3</sup>, гідролітична кислотність – 1,14 мг-екв/100 г ґрунту, рН сольове – 6,4.

Схема чергування культур у польовій сівозміні: люцерна, люцерна, пшениця озима, буряки цукрові, ячмінь, соя, пшениця озима, кукурудза на силос, пшениця озима, соняшник. У даній сівозміні застосовується три рівні удобрення із розрахунку на 1 га сівозмінної площі: за мінеральної системи – компост 4,5 т +  $N_{80}P_{96}K_{108}$ ; органо-мінеральної – компост 4,5 т +  $N_{40}P_{48}K_{54} + 3,5$  т побічна продукція і сидеральна маса та органічної – компост 4,5 т + 3,0 т побічна продукція і сидеральна маса. У досліді застосовували такі добрива: компост, аміачна селітра, суперфосфат гранульований і калій хлористий.

Другий фактор, який вивчали, були системи основного обробітку ґрунту: 1) диференційований обробіток (контроль), який рекомендований в Лісостепу і передбачає за ротацію сівозміни п’ять оранок, два поверхневих обробітки під пшеницю озиму після сої і кукурудзи на силос і один

плоскорізний обробіток під ячмінь; 2) полицево-безполицевий передбачає за ротацію сівозміни дві оранки під буряки цукрові та соняшник під решту культур безполицеві обробітки; 3) мілкий безполицевий обробіток під всі культури сівозміни. Площа ділянок – 240 м<sup>2</sup>, повторність варіантів у досліді чотирьохразова.

Для визначення енергетичної ефективності використання добрив і обробітку ґрунту у сівозміні застосовували загальноприйняті методики (Медведовський О. К., Іваненко П. І., 1988, Тараріко Ю. О., Несмашна О. Є., Глуценко Л. Д., 2011). Одержані результати дали змогу розрахувати коефіцієнт енергетичної ефективності як по мінеральній, органо-мінеральній, так і по органічній 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 оці-

нити 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<sub>е</sub>), який є узагальнювальним показником і показує співвідношення енергомісткості врожаю до витрат техногенної енергії на його отримання.

Сільськогосподарські культури мають неоднакову здатність засвоювати кінетичну енергію сонця і тому припустити, що вони мають різну енергетичну цінність і для визначення виходу енергії з урожаєм необхідно знати енерговміст усіх частин сільськогосподарської продукції.

Застосування у сівозміні 284 кг мінеральних добрив і 4,5 т компосту на гектар сівозмінної площі дало змогу збільшити вихід енергії урожаю, що становить 134,6 ГДж/га (див. рис.).



Рис. Енергетична оцінка сівозміни залежно від системи удобрення і обробітку ґрунту, (2011 – 2017 рр.)

Використання 142 кг мінеральних добрив і 4,5 т компосту, призводило до неістотного зниження виходу енергії урожаю в сівозміні. Застосування органічної системи, що передбачала використання лише органічних добрив істотно знижувала на 35,8 % витрати енергії на формування урожаю порівняно до контролю.

Одним з основних напрямів збереження енергетичних ресурсів у землеробстві є розробка і впровадження технологій, які забезпечують зменшення питомих витрат сукупної енергії на одиницю продукції.

Важливим показником водночас є порівняння кількості енергії, акумульованої в урожаї культури, її сукупною енергією, витраченою на вирощування і збирання врожаю. Встановлено, що  $K_{ee}$  кожної окремо взятої культури щорічно змінювався. Різним він був у сівозміні впродовж ротатції. У сівозміні серед систем удобрення за економічністю енерговитрат найбільш ефективною була застосування добрив. Коефіцієнт енергетичної ефективності ( $K_{ee}$ ) становив 7,3 %, що на 19,6 % більше від мінеральної системи удобрення. За орґано-мінеральної системи удобрення коефіцієнт енергетичної ефективності 6,9 на 13,1 % перевищував мінеральну систему. Менш енергоощадною була мінеральна система удобрення.

Одним із найважливіших елементів технології вирощування є обробіток ґрунту, як один із найдієвіших засобів впливу на зміну умов вирощування сільськогосподарських культур. Питання обробітку ґрунту і його вдосконалення у конкретній кліматичній зоні в напрямі мінімізації ресурсощадження не втрачає своєї актуальності. Найбільш енергетично ефективним виявилися варіанти полицево-безполице-

вого ( $K_{ee}$ -7,0) та диференційованого обробітків ( $K_{ee}$ -6,8), а енергетично менш ефективним виявився мілкий безполицевий ( $K_{ee}$ -6,5), що обумовлено нижчою урожайністю культур сівозміни на цьому варіанті.

Відповідно до класифікації Ю. О. Тараріко (Тараріко Ю. О., Несмашна О. Ю., Бердніков О. М., Глуценко Л. Д., Личук Г. І. та ін., 2005) за якою  $K_{ee} < 2$ -виробництво неефективне; 2-4 – ефективність низька; 4-6 – середня; 6-8 – висока;  $> 8$  – дуже висока.

Вирощування сільськогосподарських культур за всіх систем удобрення характеризується як висока.

Отже, коефіцієнт енергетичної ефективності ( $K_{ee}$ ) на варіантах систем удобрення із зростанням енерговитрат зменшується.

Це означає, що кожна одиниця додаткових техногенних витрат окупається все меншою віддачею у вигляді енергії урожаю. Маловитратні системи удобрення (компост, побічна продукція, сидерати) завжди енергетично вигідніші, ніж більш енергомісткі із застосуванням мінеральних добрив та засобів захисту.

**Висновки.** Високий рівень енергетичної ефективності агротехнологій на чорноземі типовому глибокому середньо суглинковому на фоні полицево-безполицевого обробітку ґрунту визначено за органічної і орґано-мінеральної системи удобрення. Високі норми добрив застосовані за мінеральної системи удобрення підвищують вихід енергії з урожаєм, але коефіцієнт енергетичної ефективності знижується, він не перевищує 5,7-6,3. Зниження норми добрив на варіантах без застосування добрив і органічної системи, істотно зменшує вихід енергії урожаєм, а коефіцієнт енергетичної ефективності підвищується.

## Література

1. Бука А. Я., Дружченко А. В. Енергетична оцінка застосування добрив у Лівобережному Лісостепу. Вісник аграрної науки. 2002. № 3. С. 13–15.

2. Іваніна В. В. Біологізація удобрення культур у сівозмінах. Київ : ЦП «Компринт», 2016. 328 с.
3. Іваніна В. В. Роль добрив в підвищенні енергетичної ефективності агротехнологій. Вісник аграрної науки. 2013. № 3.С. 20–24.
4. Іваніна В. В. Енергетична ефективність агротехнологій за різних систем удобрення зернобурякової сівозміни. Цукрові буряки. 2017. № 6 (90). С. 17–19.
5. Медведовський О. К., Іваненко П. І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. Київ : Урожай, 1988. 208 с.
6. Наукові основи ефективного розвитку землеробства в агроландшафтах України / за ред. В. Ф. Камінського. Київ : Едельвейс, 2015. 428 с.
7. Польовий В. М. Оптимізація систем удобрення у сучасному землеробстві. Рівне: Волинські береги, 2007. 320 с.
8. Рогальський С. В. Відтворення енергетичного потенціалу ґрунту у Лісостепу. Вісник аграрної науки. 2001. № 4. С. 75–76.
9. Сінченко В. М. Ефективність сучасного землеробства на основі його енергетичного базису. Вісник аграрної науки. 2004. № 11. С.14–17.
10. Танчик С. П., Цюк О. А., Центило Л. В. Наукові основи систем землеробства. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2015. 314 с.
11. Тараріко Ю. О., Несмашна О. Є., Глуценко Л. Д. Енергетична оцінка систем землеробства і технологій вирощування сільськогосподарських культур. Київ : Нора-прінт, 2011. 60 с.
12. Тараріко Ю. О., Несмашна О. Ю., Бердніков О. М., Глуценко Л. Д., Личук Г. І. та ін. Біоенергетична оцінка сільськогосподарського виробництва.К.: Аграрна наука, 2005. 200 с.
13. Татаріко Ю. А. Формирование устойчивых агроэкосистем. К: ДИА, 2007. 560 с.
14. Цвей Я. П. Біоенергетична оцінка продуктивності різноротаційних сівозмін. Збірник наукових праць ІБКЦБ. 2011. Вип. 12. С. 46–55.
15. Цвей Я. П. Біоенергетична оцінка продуктивності різноротаційної сівозміни. Наук. праці Ін-ту біоенергетичних культур і цукрових буряків : зб. наук. пр. 2012. Вип. 12. С. 46–54.
16. Цюк А. А. Оценка и экологическая эффективность систем земледелия. Сахарная свекла. 2013. № 6. С. 25–27.

## References

1. Buka A. Ya, & Druzhchenko A. V. (2002). Enerhetychna otsinka zastosuvannya dobryv u Livoberezhnomu Lisostepu [Power estimation of application of fertilizers in Left-bank forest-steppe]. Visnyk ahrarnoi nauky, 3, 13–15. (in Ukrainian)
2. Ivanina, V. V. (2016). Biologizatsiia udobrennia kultur u sivozminakh [Biologization of fertilization in crop rotations]. Kyiv: Komprynt. (in Ukrainian)
3. Ivanina V. V. (2013). Rol dobryv v pidvyshchenni enerhetychnoi efektyvnosti ahrotekhnologii [The role of fertilizers in increasing the energy efficiency of agrotechnologies]. Visnyk ahrarnoi nauky, 3, 20–24. (in Ukrainian)
4. Ivanina V. V. (2017). Enerhetychna efektyvnist ahrotekhnologii za riznykh system udobrennia zernoburiakovoї sivozminy [Energy efficiency of agrotechnologies in different fertilizer systems of grain-bucket crop rotation]. Tsukrovi buriaky, 6(90), 17–19. (in Ukrainian)
5. Medvedovskiy, O. K., & Ivanenko, P. I. (1988). Enerhetychniy analiz intensyvykh tekhnologii v silskohospodarskomu vyrobnytstvi [Energy analysis of intensive technologies in agriculture]. Kyiv: Urozhai, 208. (in Ukrainian)
6. Kaminskiy, V. F. (Ed.). (2015). Naukovi osnovy efektyvnoho rozvytku zemlerobstva v ahrolandshaftakh Ukrainy [Scientific ground of effective development of agriculture in agrolandscapes of Ukraine]. Kyiv: Edelweis. (in Ukrainian)
7. Poloviy V. M. (2007). Optyimizatsiia system udobrennia u suchasnomu zemlerobstvi [Optimization of fertilizer systems in modern agriculture]. Rivne: Volynski oberehy, 320. (in Ukrainian)
8. Rohalskyi S. V. (2001). Vidtvorennia enerhetychnoho potentsialu ґрунту u Lisostepu [Restoration of the energy potential of the soil in the forest-steppe]. Visnyk ahrarnoi nauky, 4, 75–76. (in Ukrainian)
9. Sinchenko V. M. (2004). Efektyvnist suchasnoho zemlerobstva na osnovi yoho enerhetychnoho bazysu [Efficiency of modern agriculture on the basis of its energy basis]. Visnyk ahrarnoi nauky, 11, 14–17. (in Ukrainian)

10. Tanchyk S. P., Tsiuk O. A., & Tsentylo L. V. (2015). Naukovi osnovy system zemlerobstva [Scientific fundamentals of agricultural systems]. Vinnytsia: Nilan-LTD. (in Ukrainian)
11. Tarariko, Yu. O., Nesmashna, O. Ye., & Hlushchenko, L. D. (2011). Enerhetychna otsinka system zemlerobstva i tekhnolohii vyroshchuvannya silskohospodarskykh kultur [Energy assessment of agricultural systems and technologies for growing crops]. Kyiv: Nora-print, 60 (in Ukrainian)
12. Tarariko Yu. O., Nesmashna O. Yu., Berdnikov O. M., Hlushchenko L. D., Lychuk H. I. et al. (2005). Bioenerhetychna otsinka silskohospodarskoho vyrobnytstva [Bioenergy evaluation of agricultural production]. Kyiv: Ahrarna nauka, 200. (in Ukrainian)
13. Tatariko Yu. A. (2007). Formirovanie ustoychivyykh agroekosistem [Formation of stable agroecosystems]. Kyiv: DIA, 560. (in Ukrainian)
14. Tsvei Ya. P. (2011). Bioenerhetychna otsinka produktyvnosti riznorotatsiinykh sivozmin [Bioenergetic estimation of productivity of diversified crop rotation]. Zbirnyk naukovykh prats IBKTsB, 12, 46–55.
15. Tsvei, Ya. P. (2012). Bioenergetic estimation of productivity of diversified crop rotation. Nauk. prac Inst. bioenerg. kul't. cukrov. burakiv [Scientific papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet], 12, 46–54. (in Ukrainian)
16. Tsyuk, A. A. (2012). Assessment and ecological efficiency of farming systems. Sakharnaya svekla [Sugar Beet], 6, 25–27. (in Russian)

## SUMMARY

*L. V. Tsentylo, O. A. Tsiuk, V. I. Melnyk. Energy efficiency of growth transport and processing systems. Biological Resources and Nature Management. 2019. 11, №3–4. P.90–96. <https://doi.org/10.31548/bio2019.03.010>*

**Abstract.** To justify the energy efficiency of ten-field crop rotation depending on the system of fertilization and tillage, energy output with the crop and energy costs.

The measure of the energy efficiency of crop cultivation is the energy efficiency ratio, which expresses the ratio of the total energy content of the cultivated product in the amount of non-renewable energy expended on its cultivation.

The results of studies that were carried out in a stationary experiment on typical deep chernozem in the zone of unstable moisture in a ten-crop crop rotation are presented. Studies have shown that the use of compost 4.5 t + N80P96K108 energy output with a yield in the fertilizer system reached 134.6 GJ / ha, organically mineral for applying compost 4.5 t + N40P48K54 + 3.5 t by-product and green manure weight - 129.0 GJ / ha, which is 107 and 98.4%, respectively, higher than

that of an uncomfortable background. The coefficient of energy efficiency ( $K_e$ ) was the highest with an uncomfortable background - 7.3, for organo-mineral - 6.9, mineral - 6.1. High rates of fertilizer applied to the options of experience, increase energy output with the crop. Reducing the rate of fertilizer significantly reduces both energy output with yield and energy efficiency ratio.

The highest energy yield with a yield of 134.6 GJ/ha was recorded by the mineral fertilizer system. Plowing on the organo-mineral system fertilizer of crop residues of all crops and sideral mass provides energy output with a yield of 129 GJ/ha with  $K_e$  6.9, which significantly exceeds the control. Reducing the rate of fertilizer significantly reduces both energy yield and yield, and energy efficiency ratio.

**Keywords:** fertilizer system, tillage, energy efficiency ratio, energy costs, energy output

## АННОТАЦІЯ

*Л. В. Центилю, А. А. Цюк, В. І. Мельник. Энергетическая эффективность систем удобрения и обработки почвы. Биоресурсы и природопользование. 2019. 11, №3–4. С.90–96. <https://doi.org/10.31548/bio2019.03.010>*

**Аннотация.** Обоснована энергетическая эффективность десятипольного полевого севооборота в зависимости от исследуемых вариантов, выхода энергии с урожаем и энергетических затрат.

Мерилом энергетической эффективности технологий выращивания культур в севообороте является

коэффициент энергетической эффективности, который является отношением содержания всей энергии в выфазируемой продукции в количестве не возобновляемой энергии, затраченной для ее выфаживания.

Представлены результаты научных исследований на черноземе типичном глубоком в зоне

*Лесостепи в десятипольном севообороте. Исследования показали, что применение компост 4,5 т + N80P96K108 выход энергии с урожаем в системе удобрения достигал 134,6 ГДж / га, по органоминеральной за внесение компост 4,5 т + N40P48K54 + 3,5 т побочная продукция и сидеральная масса - 129,0 ГДж / га, что на 107 и 98,4% соответственно превышает показатели варианта без применения удобрений. Коэффициент энергетической эффективности (К<sub>ее</sub>) был самым высоким за неудобреного фона - 7,3, по органоминеральной - 6,9, минеральной - 6,1. Повышенные дозы удобрений применены в вариантах опыта повышают выход энергии с урожаем. Снижение дозы удобрений существенно*

*уменьшает выход энергии и коэффициент энергетической эффективности.*

*Самый высокий выход энергии с урожаем 134,6 ГДж / га зафиксировано по минеральной системе удобрения. Запахивания по органоминеральной системе удобрения пожнивных остатков всех культур и сидеральной массы обеспечивает выход энергии с урожаем 129 ГДж / га при К<sub>ее</sub> 6,9, что существенно превышает контроль. Снижение дозы удобрений существенно уменьшает выход энергии урожаем и коэффициент энергетической эффективности.*

**Ключевые слова:** система удобрения, обработка почвы, коэффициент энергетической эффективности, выход энергии, энергетические затраты.

*Отримано 26.06.2019 р.*