

УДК 633.95:620.91

## Енергетична ефективність ланки різноротаційних сівозмін

С. О. Бондар

Інститут біоенергетичних культур та цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110,  
Україна, e-mail: sob\_2006@ukr.net

**Мета.** Обґрунтувати енергетичну ефективність ланки різноротаційних сівозмін залежно від системи удобрення, виходу енергії з урожаєм та енергетичних затрат. **Методи.** Мірилом енергетичної ефективності технології вирощування сільськогосподарських культур є коефіцієнт енергетичної ефективності, який виражає відношення вмісту загальної енергії у вирощуваній продукції до кількості неповновольованої енергії витраченої на її вирощування. **Результати.** Наведено результати досліджень, які проводили в стаціонарному досліді на чорноземах типових вилугуваних у зоні нестійкого зволоження в шестипільних різноротаційних сівозмінах: плодозмінній (33 % кормових, 17 % просапних, 50 % зернових), просапній (17 % кормових, 50 % просапних, 33 % зернових) та зерно-просапній (17 % кормових, 33 % просапних, 50 % зернових). Дослідження у різноротаційних сівозмінах виявили, що на фоні 16,6 т/га гною +  $N_{53,3}P_{53,3}K_{53,3}$  вихід енергії з урожаєм у ланці плодозмінної сівозміни досягав 319169 МДж, у просапній – 292569, зерно-просапній – 301963 МДж, що на 48, 44 та 48 % відповідно перевищує показники неудобреного фону. Коефіцієнт енергетичної ефективності (*K<sub>ee</sub>*) був найвищим у зерно-просапній сівозміні – 4,39, тоді як у плодозмінній і просапній – 4,03 і 3,97 відповідно. У плодозмінній сівозміні на варіантах заорювання післяжнивних решток усіх культур на фоні внесення мінеральних добрив вихід енергії з урожаєм був на рівні органо-мінеральної системи удобрення. Високі норми добрив застосовані у зерно-просапній сівозміні підвищують вихід енергії з урожаєм. Зниження норми добрив істотно зменшує як вихід енергії з урожаєм, так і коефіцієнт енергетичної ефективності. **Висновки.** Найвищий вихід енергії з урожаєм (319169 МДж) зафіксовано у плодозмінній сівозміні в ланці вико-овес – озима пшениця – цукровий буряк на фоні застосування 16,6 т/га гною +  $N_{53,3}P_{53,3}K_{53,3}$ . Заорювання у плодозмінній сівозміні післяжнивних решток усіх культур на фоні мінеральної системи забезпечує вихід енергії з урожаєм 303534 МДж за *K<sub>ee</sub>* 4,06, що є на рівні показників органо-мінеральної системи удобрення. Високі норми добрив застосовані у зерно-просапній сівозміні підвищують вихід енергії з урожаєм, але *K<sub>ee</sub>* не перевищує 4,31–4,33. Зниження норми добрив істотно зменшує як вихід енергії з урожаєм, так і коефіцієнт енергетичної ефективності.

**Ключові слова:** різноротаційні сівозміни, ланка сівозміни, коефіцієнт енергетичної ефективності, енергетичні затрати, вихід енергії.

### Вступ

Найповнішу оцінку технології вирощування сільськогосподарських культур і продуктивності сівозмін дає показник виходу енергії з урожаєм сільськогосподарських культур. Оскільки здатність рослин засвоювати органічну речовину за допомогою фотосинтезу значною мірою залежить від сортових особливостей рослин та фону удобрення [1].

Технологія вирощування сільськогосподарських культур пов'язана з енергетичними затратами на обробіток ґрунту, застосування мінеральних і органічних добрив, пестицидів, на сівбу, агротехнічний догляд і збирання. Енергетична оцінка дає змогу окрім економічного аналізу комплексно оцінити як технології вирощування сільськогосподарських культур, так і продуктивність сівозміни (зокрема й ланок сівозмін), дати рекомендації щодо ефективнішому господарюванню [2–5].

Згідно з результатами досліджень, проведених у зоні недостатнього зволоження в умовах Верхняцької дослідно-селекційної станції, вирощування культур зерно-бурякової сівозміни на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому енергетично найефективнішим є поєднання

внесення мінеральних добрив  $N_{50}P_{42,5}K_{50}$  і побічної продукції, де *Kee* дорівнював 5,5. Внесення лише мінеральних добрив  $N_{50}P_{42,5}K_{50}$  знижувало продуктивність сівозміни, а в разі поєднання мінеральних добрив з органічними ( $N_{50}P_{42,5}K_{50} + 12$  т/га гною) зафіксовано істотне підвищення енерговитрат, що, як наслідок, зумовило зниження коефіцієнта енергетичної ефективності до 4,5 [6].

Дослідження, проведені в умовах Веселоподільської ДСС ІБКіЦБ НААН [7] на чорноземах типових слабосолонцюватих у короткоротаційних сівозмінах виявили, що використання біологічного азоту дає змогу зменшити енерговитрати на вирощування та підвищити *Kee*. Зокрема, коефіцієнт енергетичної ефективності був найвищим у плодозмінній сівозміні за використання  $N_{45}P_{60}K_{45} + 6,25$  т/га – 3,57, зерно-просапній з 50 % насиченням просапними культурами – 3,50, зерно-просапній і зерно-паро-просапній сівозмінах з 25 % просапних – 3,39 і 3,06 відповідно.

**Мета досліджень** – обґрунтувати енергетичну ефективність ланки різноротаційних сівозмін залежно від системи удобрення, виходу енергії з урожаєм та енергетичних затрат.

### Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили в багатофакторному стаціонарному польовому досліді Білоцерківської дослідно-селекційної станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України протягом 2013–2016 рр.

Ґрунт дослідного поля – чорнозем типовий вилугуваний з такими агрохімічними показниками: вміст гумусу в шарі 0–30 см (за Тюрнімом) – 3,6–4,1 %, рухомого фосфору й обмінного калію (за Чиріковим) – 200–270 мг/кг ґрунту, азоту лужногідролізованого (за Корнфілдом) – 120–140 мг/кг ґрунту.

Дослідження проводили в шестипільних різноротаційних сівозмінах: *плодозмінній* – 33 % кормових, 17 % просапних, 50 % зернових (вико-овес – озима пшениця – цукрові буряки – ячмінь + конюшина – конюшина – озима пшениця), *просапній* – 17 % кормових, 50 % просапних, 33 % зернових (вико-овес – озима пшениця – цукровий буряк – ячмінь – соя – соняшник), *зерно-просапній* – 17 % кормових, 33 % просапних, 50 % зернових (вико-овес – озима пшениця – цукрові буряки – ячмінь – ріпак – озима пшениця).

Систему удобрення ланки сівозміни наведено в таблицях. Мінеральні добрива вносили під усі культури сівозміни за винятком вико-вівса та ячменю, крім того в ґрунт заробляли побічну продукцію всіх культур сівозміни.

Для визначення біоенергетичної ефективності використання добрив у сівозміні застосовували загальноприйняті методики [4, 8]. Одержані результати дали змогу розрахувати коефіцієнт енергетичної ефективності як по мінеральній, так і органо-мінеральній системах удобрення відношенням загальної кількості енергії, яка витрачалась у ланці сівозміни згідно з технологічним операціям і системам удобрення як органо-мінеральної, так і мінеральної, до загальної кількості одержаної енергії у вигляді продукції рослинництва, відношенням загальної кількості одержаної енергії до її витрат, що дає змогу оцінити ефективність системи удобрення.

### Результати досліджень

Дослідження у різноротаційних сівозмінах виявили, що на фоні 16,6 т/га гною +  $N_{53,3}P_{53,3}K_{53,3}$  вихід енергії з урожаєм у ланці плодозмінної сівозміни досягав 319169 МДж, у просапній – 292569, зерно-просапній – 301963 МДж, що на 48, 44 та 48 % відповідно перевищує показники неудобреного фону (табл. 1). Коефіцієнт енергетичної ефективності (*Kee*) був найвищим у зерно-просапній сівозміні – 4,39, тоді як у плодозмінній і просапній – 4,03 і 3,97 відповідно.

Як свідчать результати низки попередніх досліджень [6, 9, 10], коефіцієнт енергетичної ефективності коливається від 3,5 до 4,5, але в разі зменшення технологічних затрат зростає до 5–6.

Заорювання післяжнивних решток (соломи пшениці озимої) під цукрові буряки у плодозмінній сівозміні на фоні мінеральної системи удобрення ланки сівозміни сприяло зростанню показника виходу енергії з урожаєм до 303534 МДж, що перевищувало неудобрений фон на 47 % та не поступалось органо-мінеральній системі живлення. У разі використання в ланці просапної сівозміни лише 16,6 т/га гною вихід енергії з урожаєм становив 236488 МДж, що на 56081 МДж було менше за аналогічний показник за органо-мінеральної системи живлення. Застосування у сівозміні лише мінерального удобрення (без органічних добрив) приводить до зниження

врожайності культур та, як наслідок, до зниження виходу відновлювальної енергії з урожаєм. Зокрема, у зерно-просапній сівозміні на фоні внесення мінеральних добрив показник виходу енергії з урожаєм становив 265674 МДж, *Kee* – 4,31, що було менше порівняно з органо-мінеральною системою на 36289 МДж і 0,08 відповідно.

Вихід відновлювальної енергії залежить від урожайності сільськогосподарських культур. Саме за збалансованого мінерального живлення рослини дають високу продуктивність і, відповідно, вихід енергії.

Таблиця 1

**Енергетична оцінка ланки сівозмін залежно від системи удобрення та чергування культур (середнє за 2013–2016 рр.)**

№ варіанта	Система удобрення ланки сівозміни	Вихід енергії з урожаєм, МДж/га	Енергетичні затрати, МДж/га	Коефіцієнт енергетичної ефективності
Плодозмінна сівозміна				
11	Без добрив	152977	44426	4,42
4	Солома + N <sub>53,3</sub> P <sub>53,3</sub> K <sub>53,3</sub>	303534	103597	4,06
13	Гній – 16,6 т/га + N <sub>53,3</sub> P <sub>53,3</sub> K <sub>53,3</sub>	319169	108697	4,03
14	Гній – 16,6 т/га	263181	84171	4,52
Просапна сівозміна				
31	Без добрив	128355	36728	4,14
29	Гній – 16,6 т/га	236488	75931	4,13
33	Гній – 16,6 т/га + N <sub>53,3</sub> P <sub>53,3</sub> K <sub>53,3</sub>	292569	98251	3,97
Зерно-просапна сівозміна				
51	Без добрив	145698	42154	4,36
53	Гній – 16,6 т/га + N <sub>53,3</sub> P <sub>53,3</sub> K <sub>53,3</sub>	301963	100939	4,39
55	N <sub>53,3</sub> P <sub>53,3</sub> K <sub>53,3</sub>	265674	85797	4,31

Як свідчать результати проведених досліджень (табл. 2), у варіантах зерно-просапної сівозміни за збільшення норм азоту, фосфору і калію в системі мінерального живлення на фоні застосування 16,6 т/га гною + N<sub>80</sub>P<sub>53,3</sub>K<sub>53,3</sub>, 16,6 т/га гною + N<sub>80</sub>P<sub>103,3</sub>K<sub>103,3</sub> і 16,6 т/га гною + N<sub>53,3</sub>P<sub>53,3</sub>K<sub>80</sub> вихід енергії з урожаєм становив 309771, 322352 і 296789 МДж відповідно, що на 44097, 56678 і 31115 МДж перевищувало показники органо-мінерального фона. Коефіцієнт енергетичної ефективності за таких умов становив 4,23, 4,31 і 4,33 відповідно. Отже, високі норми добрив підвищують вихід відновлювальної енергії, але це не сприяє зростанню *Kee* через високі затрати на їх застосування.

Таблиця 2

**Енергетична оцінка ланки зерно-просапної сівозміни залежно від системи удобрення та чергування культур (середнє за 2013–2016 рр.)**

№ вар.	Система удобрення ланки сівозміни	Вихід енергії врожаєм, МДж/га	Енергетичні затрати, МДж/га	Коефіцієнт енергетичної ефективності
51	Без добрив	145698	42154	4,36
41	Гній – 16,6 т/га + N <sub>53,3</sub> P <sub>53,3</sub> K <sub>53,3</sub>	300609	100532	4,37
42	Гній – 16,6 т/га + N <sub>53,3</sub> P <sub>26,6</sub> K <sub>26,6</sub>	246631	84419	3,91
44	Гній – 16,6 т/га + N <sub>53,3</sub> P <sub>26,6</sub> K <sub>53,3</sub>	268433	91922	3,99
45	Гній – 16,6 т/га + N <sub>53,3</sub> P <sub>0</sub> K <sub>53,3</sub>	245188	84577	3,83
46	Гній – 16,6 т/га + N <sub>80</sub> P <sub>103,3</sub> K <sub>103,3</sub>	322352	110462	4,31
49	Гній – 16,6 т/га + N <sub>80</sub> P <sub>53,3</sub> K <sub>53,3</sub>	309771	106239	4,23
50	Гній – 16,6 т/га + N <sub>53,3</sub> P <sub>53,3</sub> K <sub>80</sub>	296789	99624	4,33
53	Гній – 16,6 т/га + N <sub>53,3</sub> P <sub>53,3</sub> K <sub>53,3</sub>	301963	100939	4,39
55	N <sub>53,3</sub> P <sub>53,3</sub> K <sub>53,3</sub>	265674	85797	4,31

У варіантах зерно-просапної сівозміни в разі зниження норм застосування фосфору й калію в системі удобрення сільськогосподарських культур вихід енергії врожаєм досягав 264631 і 268433 МДж, що на 37332 і 33530 МДж поступалось повній системі удобрення. Значення

показника *K<sub>ee</sub>* при цьому знижувались 3,91 і 3,99 відповідно. Аналогічну закономірність було виявлено й у разі виключенням з системи живлення фосфору. Останнє не дало змоги повною мірою реалізувати врожайний потенціал рослин, що, як наслідок, негативно вплинуло на врожайність і відповідно вихід енергії з урожаєм – 245188 МДж, *K<sub>ee</sub>* – 3,83.

Отже, як свідчать результати проведених досліджень, оптимізація мінерального живлення рослин дає змогу одержати високий вихід енергії з урожаєм ланки сівозміни.

### Висновки

Найвищий вихід енергії з урожаєм (319169 МДж) зафіксовано у плодозмінній сівозміні в ланці вико-овес – озима пшениця – цукровий буряк на фоні застосування 16,6 т/га гною + N<sub>53,3</sub>P<sub>53,3</sub>K<sub>53,3</sub>. Заорювання у плодозмінній сівозміні післяжнивних решток усіх культур на фоні мінеральної системи забезпечує вихід енергії з урожаєм 303534 МДж за *K<sub>ee</sub>* 4,06, що є на рівні показників органо-мінеральної системи удобрення. Високі норми добрив застосовані у зерно-просапній сівозміні підвищують вихід енергії з урожаєм, але *K<sub>ee</sub>* не перевищує 4,31–4,33. Зниження норми добрив істотно зменшує як вихід енергії урожаєм, так і коефіцієнт енергетичної ефективності.

### Використана література

1. Наукові основи ефективного розвитку землеробства в агроландшафтах України / за ред. В. Ф. Камінського. Київ : Едельвейс, 2015. 428 с.
2. Медведовський О. К., Іваненко П. І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. Київ : Урожай, 1988. 208 с.
3. Танчик С. П., Цюк О. А., Центилю Л. В. Наукові основи систем землеробства. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2015. 314 с.
4. Цвей Я. П. Біоенергетична оцінка продуктивності різноротаційної сівозміни. *Наук. праці Ін-ту біоенергетичних культур і цукрових буряків* : зб. наук. пр. Київ, 2012. Вип. 12. С. 46–54.
5. Цюк А. А. Оценка и экологическая эффективность систем земледелия. *Сахарная свекла*. 2013. № 6. С. 25–27.
6. Іваніна В. В. Біологізація удобрення культур у сівозмінах. Київ : Компринт, 2016. 328 с.
7. Цвей Я. П. Родючість ґрунтів і продуктивність сівозмін. Київ : Компринт, 2014. 416 с.
8. Тараріко Ю. О., Несмашна О. Є., Глущенко Л. Д. Енергетична оцінка систем землеробства і технологій вирощування сільськогосподарських культур. Київ : Нора-принт, 2011. 60 с.
9. Тараріко Ю. О. Енергозберігаючі агроєкосистем. Оцінка та раціональне використання агроресурсного потенціалу України (Рекомендації на прикладі Степу і Лісостепу). Київ : ДІА, 2011. 576 с.
10. Шкарєдний І. С. Біоенергетична оцінка культур у сівозмінах. *Система землеробства у буряківництві* : зб. наук. пр. Київ : Аграрна наука, 1997. С. 54.

### References

1. Kaminskyi, 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]
2. Medvedovskyi, O. K., & Ivanenko, P. I. (1988). *Enerhetychnyi analiz intensyvnykh tekhnolohii v silskohospodarskomu vyrobnytstvi* [Energy analysis of intensive technologies in agriculture]. Kyiv: Urozhai. [in Ukrainian]
3. Tanchyk, S. P., Tsiuk, O. A., & Tsentylo, L. V. (2015). *Naukovi osnovy system zemlerobstva* [Scientific fundamentals of agricultural systems]. Vinnytsia: Nilan-LTD. [in Ukrainian]
4. Tsvei, Ya. P. (2012). Bioenergetic estimation of productivity of diversified crop rotation *Nauk. prac'i Inst. bioenerg. kul't. cukrov. bur'akiv* [Scientific papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet], 12, 46–54. [in Ukrainian]
5. Tsyuk, A. A. (2012). Assessment and ecological efficiency of farming systems. *Sakharnaya svekla* [Sugar Beet], 6, 25–27. [in Russian]
6. Ivanina, V. V. (2016). *Biologizatsiia udobrennia kultur u sivozminakh* [Biologization of fertilization in crop rotations]. Kyiv: Komprynt. [in Ukrainian]
7. Tsvei, Ya. P. (2014). *Rodiuchist gruntiv i produktyvnist sivozmin* [Soil fertility and crop rotation productivity]. Kyiv: Komprynt. [in Ukrainian]
8. Tarariko, Yu. O., Nesmashna, O. Ye., & Hlushchenko, L. D. (2011). *Enerhetychna otsinka system zemlerobstva i tekhnolohii vyroshchuvannia silskohospodarskykh kultur* [Energy assessment of agricultural systems and technologies for growing crops]. Kyiv: Nora-print. [in Ukrainian]

9. Tarariko, Yu. O. (2011). *Enerhozberihaiuchi ahroekosystem. Otsinka ta ratsionalne vykorystannia ahroresursnoho potentsialu Ukrainy (Rekomendatsii na prykladi Stepu i Lisostepu)* [Energy saving agroecosystems. Assessment and rational use of Ukraine's agro-resource potential (Recommendations on the example of the Steppe and Forest-Steppe)]. Kyiv: DIA. [in Ukrainian]

10. Shkarednyi, I. S. (2011). Bioenergetic assessment of crops in crop rotation. In *Systema zemlerobstva u buriakivnytstvi* [Agricultural system in growing sugar beet]. Kyiv: Ahrarna nauka.

УДК 633.95: 620.91

**Бондар С. А.** Энергетическая эффективность звена разноротационных севооборотов // Новітні агротехнології. 2017. № 5. URL: <http://jna.bio.gov.ua/article/view/122233>.

*Институт биоэнергетических культур и сахарной свеклы НААН Украины, ул. Клиническая, 25, г. Киев, 03110, Украина, e-mail: sob\_2006@ukr.net*

**Цель.** Обосновать энергетическую эффективность звена разноротационных севооборотов в зависимости от системы удобрения, выхода энергии с урожаем и энергетических затрат. **Методы.** Мерилем энергетической эффективности технологии выращивания сельскохозяйственных культур является коэффициент энергетической эффективности, который выражает отношение содержания общей энергии в выращиваемой продукции к количеству невозобновляемой энергии, затраченной на ее выращивание. **Результаты.** Приведены результаты исследований, проведенных в стационарном опыте на черноземах типичных выщелоченных в зоне неустойчивого увлажнения в шестипольных разноротационных севооборотах: плодосменом (33 % кормовых, 17 % пропашных, 50 % зерновых), пропашном (17 % кормовых, 50 % пропашных, 33 % зерновых) и зерно-пропашном (17 % кормовых, 33 % пропашных, 50 % зерновых). Исследования в разноротационных севооборотах показали, что на фоне 16,6 т/га навоза + N<sub>53,3</sub>P<sub>53,3</sub>K<sub>53,3</sub> выход энергии с урожаем в звене плодосменного севооборота достигал 319169 МДж, в пропашном – 292569, зерно-пропашном – 301963 МДж, что на 48, 44 и 48 % соответственно превышает показатели неудобренного фона. Коэффициент энергетической эффективности (*K<sub>ee</sub>*) был наивысшим в зерно-пропашном севообороте – 4,39, тогда как в плодосменном и пропашном – 4,03 и 3,97 соответственно. В плодосменном севообороте на вариантах запахивания пожнивных остатков всех культур на фоне внесения минеральных удобрений выход энергии с урожаем был на уровне органо-минеральной системы удобрения. Высокие нормы удобрений примененные в зерно-пропашном севообороте повышают выход энергии с урожаем. Снижение нормы удобрений существенно уменьшает как выход энергии с урожаем, так и коэффициент энергетической эффективности. **Выводы.** Самый высокий выход энергии с урожаем (319169 МДж) зафиксировано в плодосменном севообороте в звене вико-овес – озимая пшеница – сахарная свекла на фоне применения 16,6 т/га навоза + N<sub>53,3</sub>P<sub>53,3</sub>K<sub>53,3</sub>. Запахивание в плодосменном севообороте пожнивных остатков всех культур на фоне минеральной системы обеспечивает выход энергии с урожаем 303534 МДж при *K<sub>ee</sub>* 4,06, что находится на уровне показателей органо-минеральной системы удобрения. Высокие нормы удобрений примененные в зерно-пропашные севообороте повышают выход энергии с урожаем, но *K<sub>ee</sub>* не превышает 4,31–4,33. Снижение нормы удобрений существенно уменьшает как выход энергии урожаем, так и коэффициент энергетической эффективности.

**Ключевые слова:** разноротационные севообороты, звено севооборота, коэффициент энергетической эффективности, энергетические затраты, выход энергии.

UDC 633.95: 620.91

**Bondar, S. O.** (2017). Energy efficiency of a link of various crop rotations. *Novitni agrotehnologii* [Advanced agritechnologies], 5. Retrieved from <http://jna.bio.gov.ua/article/view/122233>. [in Ukrainian]

*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna Str., Kyiv, 03110, Ukraine, e-mail: sob\_2006@ukr.net*

**Purpose.** To substantiate the energy efficiency of various crop rotations as affected by a system of fertilization, energy removal with harvest and energy costs. **Methods.** The measure of energy efficiency of crop cultivation technology is the energy efficiency ratio, which expresses the ratio of the total energy content of the cultivated crop to the amount of non-renewable energy spent on its cultivation. **Results.** The research was carried out in the stationary experiment on typical leached chernozem in the zone of unstable wetting in six-course multivariate crop rotation: crop rotation (33% fodder crops, 17% row crops, 50% grain crops), row crop rotation (17% fodder crops, 50% row crops, 33% grain crops) and grain-row crop rotation (17% fodder crops, 33% row crops, 50% grain crops). The experiment has shown that against the background of 16.6 t/ha of manure + N<sub>53,3</sub>P<sub>53,3</sub>K<sub>53,3</sub>, the energy removal with the harvest in the link of crop rotation amounted to 319169 MJ, in the link of row crop rotation 292569, and in the link of grain-row crop rotation 301963 MJ, which was by 48, 44 and 48%, respectively, higher than the energy removal against the background without fertilization. The energy efficiency ratio (*k<sub>ee</sub>*) had the highest value in grain-row crop rotation (4.39), while in the crop rotation and grain-row crop rotation 4.03 and 3.97, respectively. In fertilized crop rotation, the yield of energy from the crop was at the level of the organic-mineral fertilizer system in treatments of ploughing-in crop residues against the background of mineral fertilization. High fertilizer rates applied in grain-crop rotation increase the yield of energy removal with the crop. The reduction of fertilizer rates

significantly reduces both the energy removal and the efficiency of energy. **Conclusions.** The highest yield of energy with the crop (319169 MJ) was recorded in crop rotation in the link of oat – winter wheat – sugar beet at the background of application of 16.6 t/ha of manure +  $N_{53.3}P_{53.3}K_{53.3}$ . Ploughing- in crops residues against the background of the mineral system provides a yield of energy with a yield of 303534 MJ at  $k_{ee}$  4.06, which is at the level organic-mineral fertilizer system. High fertilizer rates applied in grain-seed crop rotation increase the yield of energy with the yield, but  $k_{ee}$  does not exceed 4.31–4.33. The reduction of fertilizer rates significantly reduces both the energy removal by crop and the energy efficiency ratio.

**Keywords:** various crop rotations, crop rotation link, energy efficiency, energy efficiency ratio, energy yield.

Надійшла / Received 06.09.2017  
Погоджено до друку / Accepted 27.10.2017