

АГРОНОМІЯ

УДК 631.811.98:631.816.1:633.15

Енергетична ефективність застосування різних норм мінеральних добрив та регуляторів росту рослин за вирощування кукурудзи в умовах Лівобережного Лісостепу України

Каленська С.М. , Єрмакова Л.М. , Свистунов Ю.В. , Антал Т.В. *Національний університет біоресурсів і природокористування України*Антал Т.В. E-mail: taniantal@ukr.net

Каленська С.М., Єрмакова Л.М., Свистунов Ю.В., Антал Т.В. Енергетична ефективність застосування різних норм мінеральних добрив та регуляторів росту рослин за вирощування кукурудзи в умовах Лівобережного Лісостепу України. «Агробіологія», 2025. № 1. С. 65–74.

Kalenska S., Ermakova L., Svistunov Y., Antal T. Energy efficiency of using different rates of mineral fertilizers and plant growth regulators in corn growing in the conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. «Agrobiologia», 2025. no. 1, pp. 65–74.

Рукопис отримано: 19.03.2025 р.

Прийнято: 03.04.2025 р.

Затверджено до друку: 22.05.2025 р.

doi: 10.33245/2310-9270-2025-195-1-65-74

У світовій практиці поряд з оцінкою економічної ефективності запроваджуваних елементів у технологіях вирощування все більшого поширення набуває енергетична оцінка. Це обумовлено, з одного боку, наявністю глобальної проблеми зменшення викопних енергетичних ресурсів, а з іншого, необхідністю їх економії внаслідок здорожчання. В аграрному секторі України, як відомо, потреба в енергетичній оцінці виникла в країні наприкінці 80-х – початку 90-х років внаслідок інфляції грошей, що обумовило пошук енергоощадних технологій вирощування сільськогосподарських культур.

Сутність енергетичної оцінки полягає у встановленні співвідношення валової енергії врожаю до кількості сукупної енергії, затраченої на його вирощування, що уособлюється в енергетичному коефіцієнті. У статті представлено результати здійсненого розрахунку показників енергетичної ефективності елементів технології вирощування гібридів кукурудзи на зерно за факторами дослідів в умовах Лівобережного Лісостепу.

Опрацювання останніх досліджень вітчизняних вчених засвідчує, що питанням встановлення оптимальних норм мінеральних добрив за вирощування кукурудзи приділено достатньо уваги, проте й донині недостатньо висвітлені питання визначення реакції гібридів кукурудзи на застосування регуляторів росту рослин, встановлення ефективної норми їх внесення та мікродоз застосування за різних норм мінеральних добрив в умовах Лівобережного Лісостепу України.

За наведеними даними визначення енергетичної ефективності норм мінеральних добрив та регулятора росту рослин Вітазім для обробки посівів кукурудзи, найвищий рівень урожайності (11,11 т/га), вихід енергії акумульованої урожаєм (195536 МДж/га) та коефіцієнт енергетичної ефективності (5,78) отримано за вирощування гібрида Алєксандра на фоні розрахункової норми мінеральних добрив та обробки посівів регулятором росту рослин Вітазім у 17 мікродоз за шкалою ВВШН з нормою витрати препарату 1,0 л/га.

Проведені розрахунки енергетичної ефективності дозволили встановити ефективні варіанти обробки насіння та посівів залежно від виду регулятора росту. За обробки лише насіння незначну перевагу відмічено у регулятора росту Вуксал. Зокрема, урожайність зросла на 0,59 т/га у гібрида Дніпровський 257 СВ;

0,74 т/га – Алєкксандра; 0,70 т/га – Окксїжен, що відповідно на 0,03; 0,11 та 0,10 т/га більше порівняно з обробкою насіння Вітазимом. Найбільш висока енергетична ефективність отримана за проведення комплексної обробки насіння та посівів регулятором росту Вітазим у 17-ту мікростадію ВВСН у гібрида Алєкксандра. Зокрема, за урожайності 11,92 т/га вихід енергії з урожаєм становив 209792 МДж/га, а коефіцієнт енергетичної ефективності – 5,90. Це є перспективним з позицій енергозбереження та доцільним для практичного впровадження у виробництво на чорноземах типових Лівобережного Лісостепу України.

Ключові слова: кукурудза, гібрид, мінеральні добрива, регулятори росту, мікростадії ВВСН, урожайність, енергетичні витрати, енергія акумульована урожаєм, коефіцієнт енергетичної ефективності.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Вирощування високих урожаїв кукурудзи потребує значних обсягів енергії на здійснення технологічних операцій в процесі вирощування. Проте пропорційно зростанню рівнів урожайності кукурудзи стрімко зростає величина витрат енергії. Досить актуальним на сьогодні є пошук способів зниження енергоємних процесів та заміна їх менш енерговитратними. Саме тому було здійснено енергетичну оцінку застосованих заходів за факторами досліді (гібрид, регулятор росту, добрива) для більш об'єктивної оцінки ефективності їх впровадження в Лівобережному Лісостепу.

Поряд з методом оцінки економічної ефективності запроваджених елементів у технології вирощування набуває поширення енергетична оцінка, в основу якої покладено розрахунок кількості енергії затраченої на виробництво продукції та валової енергії, яка акумульована з отриманням урожаїв основної та побічної продукції [6, 9, 20, 21].

У сучасному сільськогосподарському виробництві важливе значення має врахування енергозатрат в системі технологій вирощування сільськогосподарських культур. Порівняння енергії, акумульованої в урожаї, із сукупною енергією, затраченою на вирощування і збирання врожаю, дає змогу більш об'єктивно оцінити технологію вирощування [6, 13, 14].

Ми поділяємо думку Ю.О. Тараріко та інших науковців, що енергетичний аналіз, який є концентрованим вираженням закону збереження та перетворення енергії, дозволяє зробити порівняння енерговитрат та вмісту (приходу) енергії в одержаному врожаї [18, 19].

Співвідношення валової енергії врожаю до кількості сукупної енергії, затраченої на його вирощування, прийнято називати енергетичним коефіцієнтом вирощування

культури, який характеризує біоенергетичну ефективність агросистеми вирощування [10, 13, 14, 15, 23].

На думку В.Д. Паламарчука, І.М. Дідур, О.М. Колісника, О.О. Алексєєва, енергетична ефективність технологій забезпечує більш повну оцінку окремих елементів технології вирощування, оскільки не залежить від сезонної динаміки цін на енергоносії, добрива та вартість кінцевої продукції [12].

Проведеними дослідженнями Є.В. Крест'янінов та ін. [8] встановили, що найвищі енерговитрати на 1 га посіву кукурудзи були у варіантах за застосування позакоренових підживлень посівів кукурудзи на фоні внесених мінеральних добрив та підживлення сучасними добривами Нутрімекс, Нутрібор і Мікро-Мінераліс Кукурудза по 4 і 8 листку та становили 36136–35324 МДж/га. Водночас відмічено значне зростання виходу енергії з урожаєм зерна гібридів кукурудзи у разі застосування сучасних мікродобрив. Найвищі показники у досліджуваних гібридів було отримано за комплексного застосування двох видів добрив у підживленні та дворазової обробки посівів. Вони відповідно становили 171952 та 162096 МДж/га.

Дослідження науковців С.М. Каленської та ін. [22] свідчать, що за продуктивності зерна кукурудзи 7,8 т/га у контрольному варіанті вміст енергії в урожаї становив 123715 МДж/га, а затрати привнесеної енергії дорівнювали 42517 МДж/га за коефіцієнта енергетичної ефективності 2,9 одиниць. За внесення лише мінеральних добрив у нормі $N_{60}P_{40}K_{65}$ за урожайності зерна 10,7 т/га енерговміст врожаю підвищувався до 161435 МДж/га, а витрати антропогенної енергії підвищувались до 51659 МДж/га за коефіцієнта енергетичної ефективності 3,1 одиниць. За комплексного застосування мінеральних добрив та органо-мінерального

мікродобрива за урожайності зерна 12,1 т/га вміст енергії в урожаї становив 166592 МДж/га за витрат антропогенної енергії 52506 МДж/га. Коефіцієнт енергетичної ефективності дорівнював як і у попередньому випадку 3,1 одиниць.

Проведеними науковими дослідженнями вчених встановлено здатність гібридів кукурудзи акумулювати різну кількість поживних речовин з одиниці площі. Тому оптимальний підбір гібридів є додатковим безоплатним елементом підвищення енергетичної ефективності технології вирощування кукурудзи на зерно [2, 7, 16, 17, 22].

Мета дослідження полягала у встановленні енергетичної ефективності елементів технології вирощування кукурудзи на зерно за комплексного впливу мінеральних добрив, передпосівної обробки насіння та посівів у період вегетації регуляторами росту рослин в умовах Лівобережного Лісостепу України.

Матеріал і методи дослідження. Польові дослідження у трифакторному досліді проводили з гібридами кукурудзи: Дніпровський 257 СВ, занесеним до Державного реєстру сортів рослин України в 2007 році, оригінатор Інститут зернових культур НААН; гібридом Александра (ФАО 340), занесеним до Державного реєстру сортів рослин України в 2012 році та гібридом Оксїжен (ФАО 350) – в 2010 році, оригінатором яких є компанія РЖТ Семенс Україна з вивчення їх продуктивності залежно від норм мінеральних добрив та за-

стосування у період вегетації регулятора росту Вітазим (схема дослідів 1).

У двофакторному досліді, відповідно до програми наукових досліджень, були проведені наукові дослідження щодо впливу передпосівної обробки насіння та посівів регуляторами росту рослин Вітазим і Вуксал на формування урожайності зерна досліджуваних гібридів (схема дослідів 2).

Дослідження проведені в 2015–2017 рр., однак мають актуальність та практичне значення і на сьогодні. Опрацювання та аналіз останніх досліджень вчених показав, що недостатньо висвітлені питання визначення реакції гібридів кукурудзи на застосування регуляторів росту рослин, встановлення ефективних норм їх внесення та мікростадій застосування за різних норм мінеральних добрив на чорноземах типових Лівобережного Лісостепу України, що є свідченням їх актуальності.

Регулятор росту Вітазим – це потужний біостимулятор, створений методом ферментації рослинної сировини, головним діючим компонентом його є брасиностероїди, які впливають не лише на процеси росту і розвитку рослин, а також підвищують стійкість до різних стресових чинників, зокрема до посухи, різних коливань температур та пестицидного ураження [5].

Крім макро- і мікроелементів до складу Вітазиму також входять: брасиностероїди, триаконтанол, глюкозиди та вітаміни В₁, В₂,

Схема дослідів 1 – Продуктивність гібридів кукурудзи залежно від норм добрив та застосування у період вегетації комплексного препарату Вітазим з рістрегулюючим ефектом

Фактор А. Гібрид	Фактор В. Норма добрив (Ф ₁ та Ф ₂)	Фактор С. Обробка посівів регулятором росту Вітазим		
		варіант	норма, л/га	мікростадія за шкалою ВВСН
Дніпровський 257 СВ (контроль) Александра Оксїжен	*Фон 1	1-К	Без обробки – К	-
		2	0,5	15
		3	1,0	15
		4	1,5	15
		5	0,5	17
		6	1,0	17
		7	1,5	17
Дніпровський 257 СВ (контроль) Александра Оксїжен	*Фон 2	1-К	Без обробки – К	-
		2	0,5	15
		3	1,0	15
		4	1,5	15
		5	0,5	17
		6	1,0	17
		7	1,5	17

*Фон 1 – розрахункова норма на запланований урожай N₁₂₀P₉₀K₉₀ кг/га д. р.

*Фон 2 – 50 % від розрахункової норми N₆₀P₄₅K₄₅ кг/га д. р.

В₆, які належать до фізіологічно активних речовин, або різновиду стимуляторів росту. Вітазим у своєму складі містить більше 12 активних компонентів, тимчасом більшість препаратів з подібним механізмом дії – не більше 3–5 [1].

Вуксал – продукт німецької компанії Aglukon, добриво, регулятор росту рослин для обробки посівів у період вегетації рослин та окремі види Вуксалу – для передпосівної обробки насіння [3].

Досліди закладені методом розщеплених ділянок у чотириразовій повторності, що відповідає методиці проведення польових досліджень [4]. Облікова площа ділянки – 51 м².

Енергетичну оцінку вирощування кукурудзи проводили за методикою О.К. Медведовського та ін. [11].

Результати дослідження та обговорення. Для розрахунку енергетичної ефективності технології вирощування кукурудзи залежно від норм мінеральних добрив та регулятора росту рослин Вітазим використовували такі показники: урожайність, витрати енергії на вирощування, кількість енергії, акумульованої в урожаї, енергетичний коефіцієнт.

Як показали дослідження, витрати енергії між варіантами дослідів різнилися та залежали від запроваджених елементів у технологіях. Аналізуючи витрати енергії у розрізі гібридів, які досліджували, виявлено, що у гібрида Дніпровський 257 СВ вони становили від 31285 на контролі (Фон 1) до 34870 МДж/га; Александра – 32014–36046; Оксисен 31650–35351 МДж/га (рис. 1).

Схема дослідів 2 – Вплив передпосівної обробки насіння та посівів регуляторами росту рослин Вітазим та Вуксал на формування продуктивності гібридів кукурудзи

Фактор А. Гібрид	Фактор В. Обробка регуляторами росту			
	Вітазим		Вуксал	
	насіння, л/т	посівів, л/га	насіння, л/т	посівів, л/га
Дніпровський 257 СВ (контроль)	Без обробки-К	Без обробки-К	Без обробки-К	Без обробки-К
	3 обробкою	15 ВВСН	3 обробкою	15 ВВСН
	3 обробкою	17 ВВСН	3 обробкою	17 ВВСН
Александра	Без обробки-К	Без обробки-К	Без обробки-К	Без обробки-К
	3 обробкою	15 ВВСН	3 обробкою	15 ВВСН
	3 обробкою	17 ВВСН	3 обробкою	17 ВВСН
Оксисен	Без обробки-К	Без обробки-К	Без обробки-К	Без обробки-К
	3 обробкою	15 ВВСН	3 обробкою	15 ВВСН
	3 обробкою	17 ВВСН	3 обробкою	17 ВВСН

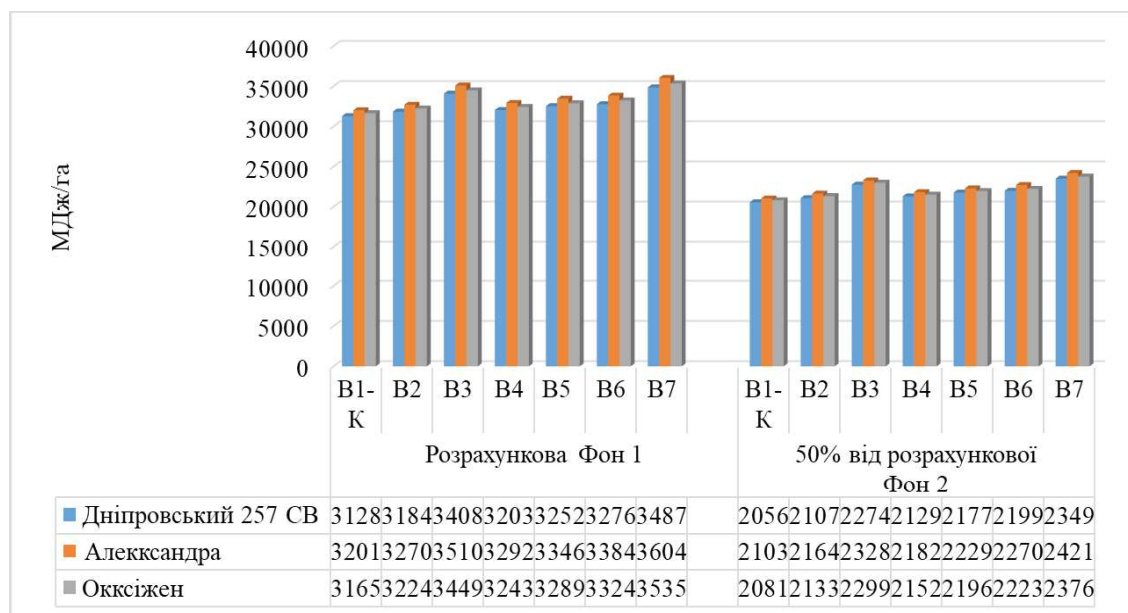


Рис. 1. Енерговитрати на вирощування гібридів кукурудзи залежно від норм мінеральних добрив та регулятора росту Вітазим, МДж/га (середнє за 2015–2017 рр.).

Така різниця у витратах енергії на вирощування пояснюється вартістю мінеральних добрив та регуляторів росту і норм їх внесення. Зростання енерговитрат за збільшення норм внесення регулятора росту до 1,5 л/га є недоцільним, адже різниця між варіантами за показником виходу енергії з урожаєм є несуттєвою, як і за показником коефіцієнта енергетичної ефективності. Відповідно до аналізу динаміки урожайності за варіантами дослідів та між гібридами в середньому за три роки досліджень, показник енергії, акумульованої з урожаєм, прямо пропорційно залежав від її рівнів.

Максимального виходу енергії з урожаєм (рис. 2) було досягнуто за вирощування гібрида Александра на розрахунковому фоні мінеральних добрив та за застосування регулятора росту Вітазим у нормі 1,0 л/га у 17-ту мікростадію ВВСН – 195536 МДж/га.

257 СВ – на 10723 та гібрида Оксжіжен – на 10835 МДж/га. Енергетична ефективність технології за половинної норми внесення мінеральних добрив підтверджена енергетичним коефіцієнтом, який змінювався та зріс до 5,49–6,17.

Одним із завдань наших досліджень було проведення енергетичної оцінки технології вирощування гібридів кукурудзи за застосування комплексної обробки насіння перед посівом та вегетуючих рослинах регуляторами росту Вітазим і Вуксал. Регулятори росту мають комплекс корисних компонентів, які стимулюють проростання насіння та забезпечують дружні і здорові сходи та розвиток рослин на початковому етапі. Обробка посівів кукурудзи забезпечує рослини необхідними макро- та мікроелементами і захищає їх від стресових чин-

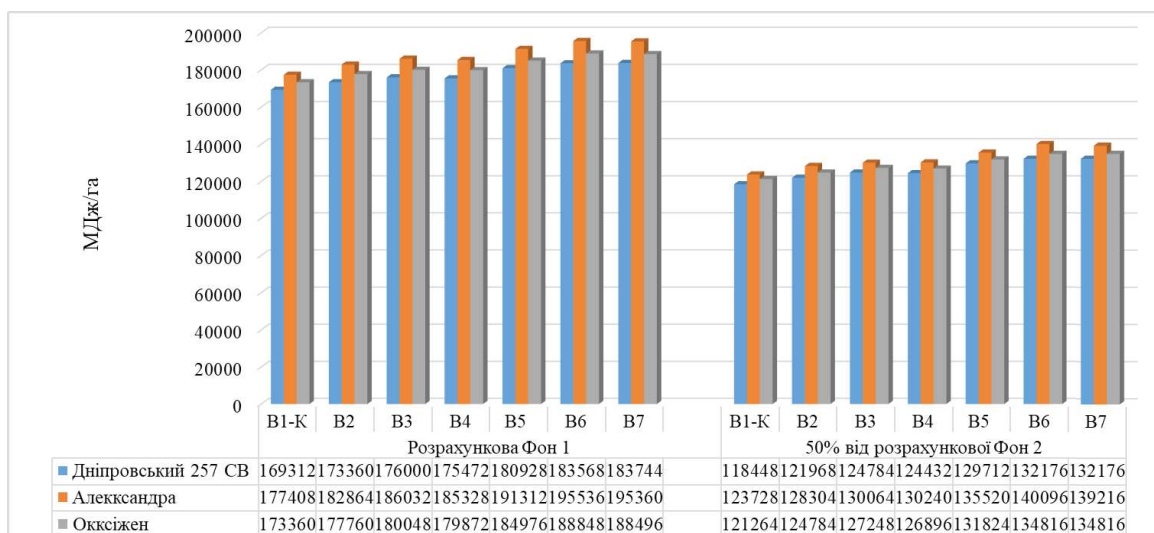


Рис. 2. Вихід енергії з урожаєм гібридів кукурудзи залежно від норм мінеральних добрив та регулятора росту Вітазим, МДж/га (середнє за 2015–2017 рр.).

Аналогічна закономірність простежувалася і за вирощування гібридів Дніпровський 257 СВ та Оксжіжен, а вихід енергії з урожаєм становив відповідно – 183744 та 188848 МДж/га. За зазначеного варіанта дослідів енергетичний коефіцієнт у гібрида Александра дорівнював 5,78; Дніпровський 257 СВ – 5,60 та Оксжіжен – 5,68.

За половинної норми мінеральних добрив урожайність гібридів зменшилася, як і показники акумульованої енергії урожаєм. Витрати енергії були меншими на вирощування гібрида Александра на 11977, Дніпровський

ніків, частота повторюваності яких зростає останніми роками.

Здійснена енергетична оцінка застосування регуляторів росту рослин Вітазим і Вуксал на посівах кукурудзи та для обробки насіння (дослід 2) показала зростання витрат енергії на вирощування гібридів кукурудзи та зміну досліджуваних показників за варіантами дослідів. Різниця в показниках обумовлена особливостями гібридів, видом регулятору росту та мікростадією розвитку рослин кукурудзи. Водночас виявлена суттєва різниця за показником енергії, акумульованої з урожаєм (табл. 1).

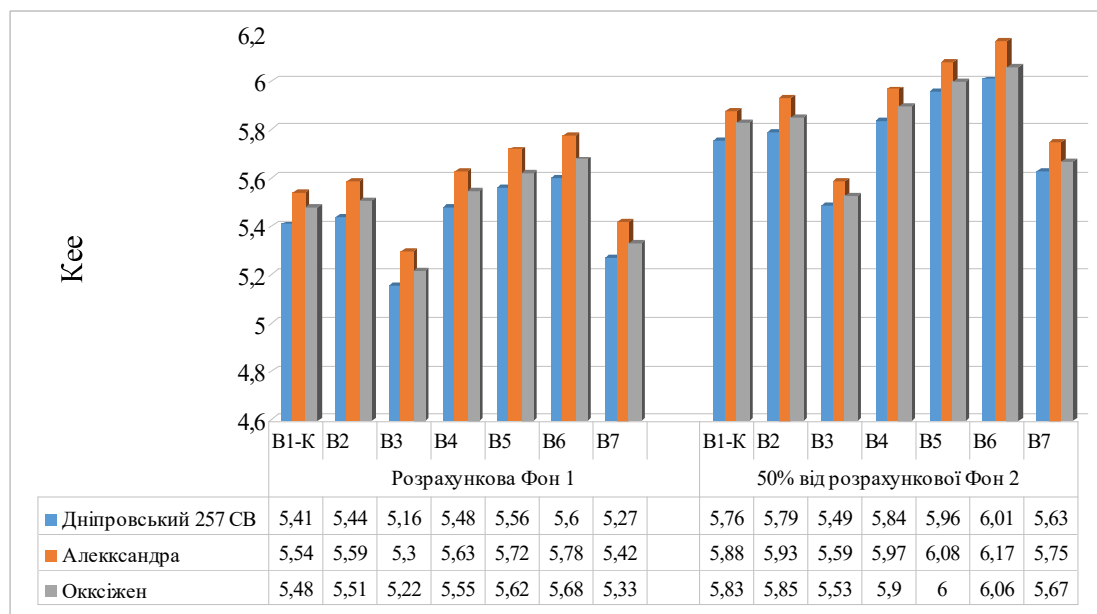


Рис. 3. Коефіцієнт енергетичної ефективності вирощування гібридів кукурудзи залежно від норм мінеральних добрив та регулятора росту Вітазим, (середнє за 2015–2017 рр.).

Таблиця 1 – Енергетична ефективність технології вирощування гібридів кукурудзи залежно від передпосівної обробки насіння та посівів регуляторами росту рослин Вітазим і Вуксал (середнє 2015–2017 рр.)

*Фактор В. Обробка регулятором росту: Н-насіння М-мікростадія		Урожайність, т/га	Витрати енергії, МДж/га	Вихід енергії з урожаєм, МДж/га	Коефіцієнт енергетичної ефективності (Kee)
Дніпровський 257 СВ					
B1-K	без обробки	9,62	31285	169312	5,41
B2	Н	10,18	32807	179168	5,46
B3	Н+15М	11,05	36394	194480	5,34
B4	Н+17М	11,28	34548	198528	5,75
B5	Н	10,21	32854	179696	5,47
B6	Н+15М	11,04	34168	194304	5,69
B7	Н+17М	11,20	36661	197120	5,38
Александра					
B1-K	без обробки	10,08	32014	177408	5,54
B2	Н	10,71	33646	188496	5,60
B3	Н+15М	11,67	37499	205392	5,48
B4	Н+17М	11,92	35561	209792	5,90
B5	Н	10,82	33820	190432	5,63
B6	Н+15М	11,59	35039	203984	5,82
B7	Н+17М	11,83	37785	208208	5,51
Оксіжен					
B1-K	без обробки	9,85	31650	173360	5,48
B2	Н	10,45	33234	183920	5,53
B3	Н+15М	11,39	37000	200464	5,42
B4	Н+17М	11,64	35118	204864	5,83
B5	Н	10,55	33393	185680	5,56
B6	Н+15М	11,31	34596	199056	5,75
B7	Н+17М	11,54	37268	203104	5,45

*B1-K (без обробки); B2-B4 – Вітазим; B5-B7 – Вуксал.

Зокрема, енергія акумульована урожаєм у варіанті без застосування регуляторів росту становила 169312 МДж/га у гібрида Дніпровський 257 СВ; 177408 МДж/га – у гібрида Александра; 173360 МДж/га – у гібрида Оксїжен. Максимального рівня цей показник досяг за застосування Вітазиму для обробки насіння та посівів у 17-ту мікростадію – 209792 МДж/га, тимчасом регулятора росту Вуксал – 208208 МДж/га.

Зважаючи на те, що ріст урожайності, здебільшого, супроводжується зростанням енерговитрат, то розрахункові дані свідчать про більші енерговитрати порівняно з рівнем акумульованої енергії урожаєм, особливо за високих норм мінеральних добрив. Аналізуючи розрахунковий показник коефіцієнта енергетичної ефективності встановлено, що його рівень зростає із зростанням валової енергії врожаю за застосування інноваційних елементів у технологіях вирощування кукурудзи. Коефіцієнт енергетичної ефективності (К_е) варіював від 5,51 до 5,90 у гібрида Александра; 5,34–5,69 – у гібрида Дніпровський 257 СВ; 5,42–5,83 – у гібрида Оксїжен.

Висновки та перспективи подальших досліджень. 1. Здійснена оцінка енергетичної ефективності технології вирощування гібридів кукурудзи дозволила встановити, що застосування різних норм мінеральних добрив та регулятора росту Вітазим в оптимальних нормах внесення в середньому за 2015–2017 рр. забезпечило їх високу практичну доцільність.

2. Гібриди кукурудзи, з якими було проведено дослідження, проявили досить високу позитивну реакцію на елементи в технології та мали досить високі рівні урожайності. Внесення мінеральних добрив у нормі $N_{120}P_{90}K_{90}$ та застосування регулятора росту рослин Вітазим у нормі 1,0 л/га у 17-ту мікростадію ВВСН забезпечує найбільше зростання урожайності залежно від гібрида: на 0,88 т/га у гібрида Дніпровський 257 СВ; 0,93 т/га – у гібрида Александра та 0,88 т/га – у гібрида Оксїжен. Максимальний вихід валової енергії з урожаєм становив 195536 МДж/га та коефіцієнт енергетичної ефективності – 5,78 у гібрида Александра, що характеризує біоенергетичну ефективність застосованих у технології вирощування елементів.

3. Розрахунок енергетичної ефективності застосованих елементів технології вирощування кукурудзи за передпосівної обробки насіння та посівів у період вегетації регуляторами росту Вітазим і Вуксал свідчить про зростання урожайності зерна з загальною закономірністю реакції гібридів на мікроста-

дію росту рослин та залежно від виду регулятора росту.

4. Проведені розрахунки енергетичної ефективності дозволили встановити ефективні варіанти обробки насіння та посівів залежно від виду регулятора росту. За обробки лише насіння незначну перевагу відмічено у регулятора росту Вуксал. Зокрема, урожайність зросла на 0,59 т/га у гібрида Дніпровський 257 СВ; 0,74 т/га – Александра; 0,70 т/га – Оксїжен, що відповідно на 0,03; 0,11 та 0,10 т/га більше порівняно з обробкою насіння Вітазимом. Найбільш високу енергетичну ефективність отримано за проведення комплексної обробки насіння та посівів регулятором росту Вітазим у 17-ту мікростадію ВВСН у гібрида Александра. Вихід енергії з урожаєм становив 209792 МДж/га, а коефіцієнт енергетичної ефективності – 5,90.

5. Для сільськогосподарських підприємств з високим рівнем ресурсного забезпечення та отримання високих і сталих врожаїв зерна кукурудзи і з метою максимально можливої реалізації генетичного потенціалу продуктивності гібридів варто запроваджувати комплексне застосування розрахункових норм мінеральних добрив відповідно до запланованої урожайності на 11–12 т/га ($N_{120}P_{90}K_{90}$ кг/га д. р.) та внесення регулятора росту рослин Вітазим на посівах з нормою 1,0 л/га у 17-ту мікростадію за шкалою ВВСН. Для підприємств з середнім та низьким рівнем ресурсного забезпечення доцільним є застосування половинної від розрахункової норми мінеральних добрив ($N_{60}P_{45}K_{45}$ кг/га д. р.) у комбінації із застосуванням регулятора росту рослин Вітазим у нормі 1,0 л/га у 17-ту мікростадію росту і розвитку рослин. Рекомендованим до впровадження у виробництво гібридом є Александра, який сформував найвищу урожайність за обох рівнів мінеральних добрив у поєднанні з регуляторами росту рослин, максимальний вихід валової енергії з урожаєм становив 195536 МДж/га і коефіцієнт енергетичної ефективності – 5,78 за розрахункової норми добрив та 140096 МДж/га – за 50 % норми від розрахункової і коефіцієнт енергетичної ефективності – 6,17.

Щодо перспективи подальших досліджень, то принагідно маємо зазначити, що з огляду на наукову актуальність та практичну значимість запропонованих елементів вони потребують продовження вивчення з новими високопродуктивними гібридами кукурудзи, асортимент яких зростає з кожним роком, з урахуванням норм мінеральних добрив залежно від рівня ресурсного забезпечення підприємств, що є актуальним на сьогодні.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аврамчук А. Застосування біостимуляторів. Як Вітазім впливає на посіви. SuperAgronom. 2020. URL: <https://superagronom.com/articles/327-zastosuvannya-biostimulyatoriv-yak-vitazim-vplyvaye-na-posivi>

2. Артеменко С.Ф., Ковтун О.В. Економічна та біоенергетична ефективність застосування різних препаратів та регуляторів росту при вирощуванні сої в умовах північного Степу України. Зернові культури. 2019. № 1. Т. 3. С. 191–198.

3. Вуксали Теріос – відмінний стандарт для високого потенціалу. Пропозиція. 2020. URL: <https://propozitsiya.com/ua/vuksaly-terios-vidminnyy-start-dlya-vysokogo-potencialu>

4. Дослідна справа в агрономії / А.О. Рожков та ін. Харків: Майдан, 2016. 300 с.

5. Мазур С., Матусевич Г., Бухтик С. Регулятори росту рослин: стан ринку, види та особливості застосування. Пропозиція. 2024. URL: <https://propozitsiya.com/ua/regulatory-rostu-roslyn-stan-rynku-vydy-ta-osoblyvosti-zastosuvannya>

6. Камінський В.Ф., Асанішвілі Н.М. Економічна ефективність технологій вирощування кукурудзи різного рівня інтенсивності. Вісник аграрної науки Причорномор'я. 2020. Вип. 3 (107). С. 19–27.

7. Наукові основи ефективності використання виробничих ресурсів у різних моделях технологій вирощування зернових культур: монографія / В.Ф. Камінський та ін. Київ: Видавничий дім «Вініченко», 2017. 580 с.

8. Крестяннінов Є.В., Єрмакова Л.М., Антал Т.В. Формування урожаю та якості зерна кукурудзи залежно від фону та позакореневого підживлення посівів в умовах лівобережного Лісостепу. Рослинництво та ґрунтознавство. 2019. Т. 10. № 1. С. 18–26. DOI: 10.31548/agr2019.01.018

9. Лавриненко Ю.О., Коковіхін С.В., Писаренко П.В. Оцінка статистичних зв'язків продуктивності різних за групами ФАО гібридів кукурудзи з теплоенергетичними показниками в умовах зрошення. Таврійський науковий вісник. 2009. Вип. 65. С. 7–18.

10. Лавриненко Ю.О., Коковіхін С.В., Найдьонов В.Г. Біоенергетична оцінка технологій вирощування кукурудзи на зерно залежно від гібридного складу та режиму зрошення. Таврійський науковий вісник. 2008. Вип. 56. С. 11–20.

11. Медведовський О.К., Іваненко П.І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. Київ: Урожай, 1988. 206 с.

12. Паламарчук В.Д., Дідур І.М., Колісник О.М., Алексєєв О.О. Аспекти сучасної технології вирощування висококрохмальної кукурудзи в умовах Лісостепу правобережного: монографія. Вінниця: ТОВ «Друк», 2020. 536 с.

13. Еколого-біологічні та технологічні принципи вирощування польових культур: навч. посіб. / В.Д. Паламарчук та ін. Вінниця, 2010. 680 с.

14. Паламарчук В.Д., Поліщук І.С., Каленська С.М., Єрмакова Л.М. Біологія та екологія сільськогосподарських рослин: підручник. Вінниця, 2013. 713 с.

15. Пиляк В.І., Нікіпелова О.М. Біоенергетична ефективність вирощування кукурудзи на зерно з використанням нових біодобрив на основі осадів стічних вод. Таврійський науковий вісник. 2021. № 119. С. 56–61. DOI: 10.32851/2226-0099.2021.119.8

16. Енергетична оцінка агросистем / О.Ф. Смаглій та ін. Житомир: Волинь, 2004. 132 с.

17. Стоцька С. Біоенергетична оцінка технології вирощування конюшини лучної на листостеблову масу в умовах Полісся. Житомирський національний агроекологічний університет. 2010. С. 33–45.

18. Тараріко Ю.О. Системи біоенергетичного аграрного виробництва. Київ: ДІА, 2009. 16 с.

19. Тараріко Ю.О., Несмашна О.Є., Глушенко Л.Д. Енергетична оцінка систем землеробства і технологій вирощування сільськогосподарських культур: методичні рекомендації. Київ: Нора-прінт, 2001. 60 с.

20. Кукурудза. Вирощування, збирання, консервування і використання / Д. Шпаар та ін. Київ: Альфа-стевія ЛТД, 2009. 396 с.

21. Egli D.B. Modelling the effect of variation of in-row spacing on kernel m -2 in maize. European Journal of Agronomy. 2022. Vol. 136. 126486. DOI: 10.1016/j.eja.2022.126486

22. Economic and Energy Efficiency of Technologies for Growing Corn Hybrids Depending on the Type and Methods of Applying Fertilizers / S. Kalenska et al. Plant and soil science. 2022. No 1. DOI: 10.31548/agr.13(1).2022.7-16

23. Integrated agronomic practice increases maize grain yield and nitrogen use efficiency under various soil fertility conditions / B. Zhou et al. The Crop Journal. 2019. Vol. 7. Issue 4. P. 527–538. DOI: 10.1016/j.cj. 2018.12.05

REFERENCES

1. Avramchuk, A. (2020). Zastosuvannya biostimulyatoriv. Yak Vitazym vplyvaie na posivy [Use of biostimulants. How Vitazym affects crops]. SuperAgronom. Available at: <https://superagronom.com/articles/327-zastosuvannya-biostimulyatoriv-yak-vitazim-vplyvaye-na-posivi>

2. Artemenko, S.F., Kovtun, O.V. (2019). Ekonomichna ta bioenerhetychna efektyvnist zastosuvannya riznykh preparativ ta rehulyatoriv rostu pry vyroshchuvanni soi v umovakh pivnichnoho Stepu Ukrainy [Economic and bioenergy efficiency of the use of various drugs and growth regulators in soybean cultivation in the northern Steppe of Ukraine]. Zernovi kultury [Grain crops]. Vol. 3, no. 1, pp. 191–198.

3. Vuksaly Terios – vidminnyi standart dlia vysokoho potentsialu [Vuksal Terios is an excellent standard for high potential]. Propozycja [Proposal]. Available at: <https://propozitsiya.com/ua/vuksaly-terios-vidminnyy-start-dlya-vysokogo-potencialu>

4. Rozhkov, A.O., Puzik, V.K., Kalenska, S.M. (2016). Doslidna sprava v ahronomii [Research in agronomy]. Kharkiv, Maidan, 300 p.
- Mazur, S., Matushevych, H., Bukhtyk, S. (2024). Rehuliatory rostu roslyn: stan rynku, vydy ta osoblyvosti zastosuvannya [Plant growth regulators: market status, types and application features]. Propozitsiia [Proposal]. Available at: <https://propozitsiya.com/ua/regulatory-rostu-roslyn-stan-rynku-vydy-ta-osoblyvosti-zastosuvannya>
5. Kaminskyi, V.F., Asanishvili, N.M. (2020). Ekonomichna efektyvnist tekhnologii vyroshchuvannya kukurudzy riznoho ravnia intensyvnosti [Economic efficiency of corn growing technologies of different intensity levels]. Visnyk aharnoi nauky Prychornomoria [Bulletin of Agricultural Science of the Black Sea Region]. pp. 19–27.
6. Kaminskyi, V.F., Saiko, V.F., Dushko, M.V., Asanishvili, N.M. Sushko, M.V. (2017). Naukovi osnovy efektyvnosti vykorystannia vyrobnychkykh resursiv u riznykh modelakh tekhnologii vyroshchuvannya zernovykh kultur [Scientific bases of efficiency of production resources use in various models of grain crops cultivation technologies]. Kyiv, Publishing House "Vinichenko", 580 p.
7. Krestianinov, Ye.V., Yermakova, L.M., Antal, T.V. (2019). Formuvannya urozhaju ta yakosti zerna kukurudzy zalezno vid fonu ta pozakoreneвого pidzhyvlennja posiviv v umovakh livoberezhnogo Lisostepu [Formation of yield and quality of corn grain depending on the background and foliar fertilization of crops in the conditions of the Left-Bank Forest-Steppe]. Roslynnnytvo ta g'runtoznavstvo [Crop production and soil science]. no. 1, Vol. 10, pp. 18–26.
8. Lavrynenko, Ju.O., Kokovihin, S.V., Pysarenko, P.V. (2009). Ocinka statystychnykh zv'jazviv produktyvnosti riznykh za grupamy FAO gibrydiv kukurudzy z teploenergetychnymy pokaznykamy v umovakh zroshennja [Evaluation of statistical relationships between productivity of different FAO groups of corn hybrids and thermal energy indicators under irrigation conditions]. Tavrijs'kyj naukovyj visnyk [Tavria Scientific Bulletin]. Issue 65, pp. 7–18.
9. Lavrynenko, Yu.O., Kokovihin, S.V., Naidonov, V.H. (2008). Bioenerhetychna otsinka tekhnologii vyroshchuvannya kukurudzy na zerno zalezno vid hibrydnogo skladu ta rezhymu zroshennja [Bioenergy assessment of corn growing technology depending on hybrid composition and irrigation regime]. Tavrijs'kyj naukovyj visnyk [Tavrian Scientific Bulletin]. Issue 56, pp. 11–20.
10. Medvedovskiy, O.K., Ivanenko, P.I. (1988). Enerhetychnyi analiz intensyvnykh tekhnologii v silskohospodarskomu vyrobnytstvi [Energy analysis of intensive technologies in agricultural production]. Kyiv, Harvest, 206 p.
11. Palamarchuk, V.D., Didur, I.M., Kolisnyk, O.M., Aliksieiev, O.O. (2020). Aspekty suchasnoi tekhnologii vyroshchuvannya vysokokrokhmalnoi kukurudzy v umovakh Lisostepu pravoberezhnogo [Aspects of modern technology of growing high-starch corn in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe]. Vinnytsia, LLC «Druk», 536 p.
12. Palamarchuk, V.D., Klymchuk, O.V., Polishchuk, I.S., Kolisnyk, O.M., Borivskiy, A.F. (2010). Ekolohe-bioloheichni ta tekhnoloheichni pryntsyipy vyroshchuvannya polovykh kultur [Ecological, biological and technological principles of growing field crops]. Vinnytsia, 680 p.
13. Palamarchuk, V.D., Polishchuk, I.S., Kalenska, S.M., Yermakova, L.M. (2013). Bioloheii ta ekoloheii silskohospodarskykh roslyn [Biology and ecology of agricultural plants]. Vinnytsia, 713 p.
14. Pyliak, V.I., Krutiakova, V.I., Nikipelova, O.M. (2021). Bioenergetychna efektyvnist' vyroshchuvannya kukurudzy na zerno z vykorystannjam novykh biodobryv na osnovi osadiv stichnykh vod [Bioenergetic efficiency of growing corn for grain using new biofertilizers based on sewage sludge]. Tavrijs'kyj naukovyj visnyk [Tavrian Scientific Bulletin]. no. 119, pp. 56–61. DOI: 10.32851/2226-0099.2021.119.8
15. Smahlii, O.F., Malynovskiy, A.S., Kardashov, A.T., Shudrenko, I.V., Rybak, M.F. (2004). Enerhetychna otsinka ahrosystem [Energy assessment of agrosystems]. Zhytomyr, Volyn, 132 p.
16. Stotska, S. (2010). Bioenerhetychna otsinka tekhnologii vyroshchuvannya koniushyny luchnoi na lystosteblovu masu v umovakh Polissia [Bioenergy assessment of the technology of growing meadow clover for leaf mass in Polissya]. Zhytomyrskiy natsionalnyi ahroekoloheichniy universytet [Zhytomyr National Agroecological University]. Zhytomyr, pp. 33–45.
17. Tarariko, Yu.O. (2009). Systemy bioenerhetychnoho aharnoho vyrobnytstva [Systems of bioenergy agricultural production]. Kyiv, DIA, 16 p.
18. Tarariko, Yu.O., Nesmashna, O.Ye., Hlushchenko, L.D. (2001). Enerhetychna otsinka system zemlerobstva i tekhnologii vyroshchuvannya silskohospodarskykh kultur [Energy assessment of farming systems and crop cultivation technologies]. Kyiv, Nora-print, 60 p.
19. Shpar, D., Hinapp, K., Dreher, D., Zakharenko, A., Kalenska, S. (2009). Kukurudza: vyroshchuvannya, zbyrannya, konservuvannya i vykorystannia [Corn: growing, harvesting, preserving and using]. Kyiv, Alfa-stevia LTD, 396 p.
20. Egli, D.B. (2022). Modelling the effect of variation of in-row spacing on kernel m⁻² in maize. European Journal of Agronomy. Vol. 136, 126486. DOI: 10.1016/j.eja.2022.126486
21. Kalenska, S., Kashtanova, O., Kalenskiy, V., Hovenko, R., Antal, T. (2022). Economic and Energy Efficiency of Technologies for Growing Corn Hybrids Depending on the Type and Methods of Applying Fertilizers. Plant and soil science. no. 1, pp. 1–13. DOI: 10.31548/agr.13(1).2022.7-16
22. Zhoua, B., Suna, X., Wangb, D., Dinga, Z., Lia, C., Maa, W., Zhaoa, M. (2019). Integrated agronomic practice increases maize grain yield and nitrogen use efficiency under various soil fertility conditions. The Crop Journal. Vol. 7, Issue 4, pp. 527–538. DOI: 10.1016/j.cj. 2018.12.05

Energy efficiency of using different rates of mineral fertilizers and plant growth regulators in corn growing in the conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine**Kalenska S., Ermakova L., Svistunov Y., Antal T.**

In world practice, along with the assessment of the economic efficiency of input elements in cultivation technologies, energy assessment is becoming increasingly widespread. This is due, on the one hand, to the global problem of reducing fossil energy resources, and on the other, to the need to save them due to their price increase. In Ukraine's agricultural sector the need for energy assessment arose when the country experienced monetary inflation in the late 1980s-early 1990s, which led to the search for energy-saving technologies for growing crops.

The essence of energy assessment is to establish the ratio of the gross energy of the crop to the amount of total energy spent on its cultivation, which is embodied in the energy coefficient. The article presents the results of the calculation of energy efficiency indicators of the elements of the technology for growing corn hybrids for grain according to the factors of experiments in the conditions of the Left Bank Forest-Steppe.

According to the data provided for determining the energy efficiency of mineral fertilizer rates and plant growth regulator «Vitazym» for treating corn crops, the highest yield level (11.11 t/ha), energy

output accumulated by the crop (195536 MJ/ha), and energy efficiency coefficient (5.78) were obtained when growing the «Aleksandra» hybrid on the background of the calculated rate of mineral fertilizers and treating crops with the «Vitazym» plant growth regulator at the 17th microstage on the BBCH scale with a drug consumption rate of 1.0 l/ha.

The energy efficiency calculations made it possible to establish effective options for seed and crop treatment depending on the growth regulator type. When treating only seeds, a slight advantage was noted for the «Vuksal» growth regulator. In particular, the yield increased by 0.59 t/ha for the «Dniprovsky 257 SV» hybrid; 0.74 t/ha for «Aleksandra»; 0.70 t/ha for «Okksizhen», which is 0.03; 0.11 and 0.10 t/ha more, respectively, compared to seed treatment with «Vitazym». The highest energy efficiency was obtained when carrying out complex treatment of seeds and crops with the Vitazym growth regulator at the 17th microstage of the VVSN for the Aleksandra hybrid. In particular, with a yield of 11.92 t/ha, the energy output with the crop was 209792 MJ/ha, and the energy efficiency coefficient was 5.90. This is promising from the standpoint of energy saving and appropriate for practical implementation in production on chernozems typical of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine.

Key words: corn, hybrid, mineral fertilizers, growth regulators, microstages of VVSN, yield, energy costs, energy accumulated by the crop, energy efficiency coefficient.



Copyright: Каленська С.М. та ін. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

**ORCID iD:**

Каленська С.М.

<https://orcid.org/0000-0002-3393-837x>

Єрмакова Л.М.

<https://orcid.org/0009-0001-4070-9044>

Свистунов Ю.В.

<https://orcid.org/0000-0002-5685-0237>

Антал Т.В.

<https://orcid.org/0000-0002-6225-9347>