

## ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ ЗА ВИКОРИСТАННЯ МАКРО- І МІКРОДОБРИВ

**М. Б. Грабовський, К. В. Павліченко, Л. А. Козак, Л. М. Качан**

Білоцерківський національний аграрний університет, пл. Соборна, 8/1, м. Біла Церква,  
Київська область, 09117, Україна

**Актуальність.** На сьогоднішній день для агропромислового комплексу та відновлювальної енергетики важливим є підвищення продуктивності кукурудзи на зерно та силос. Правильний підбір гібридів кукурудзи та енергетична оцінка технології їх вирощування є необхідним для біогазового виробництва. **Визначення проблеми.** Одним зі шляхів підвищення ефективності енерговикористання в рослинництві, в тому числі для біоенергетичних цілей, є оптимізація технологічних прийомів та збільшення виходу продукції з одиниці площі. Енергетичний аналіз дозволяє зробити порівняння енерговитрат на вирощування культури та вмісту енергії в одержаному врожаї. **Метою досліджень** було визначення впливу макро- і мікродобрих на енергетичну ефективність вирощування гібридів кукурудзи для виробництва біогазу. **Матеріали і методи.** Дослідження проводили в 2019–2021 рр. в СТОВ «Птахоплемзавод Коробівський» Андрушівського району Житомирської області. В трьох-факторному досліді вивчали: гібриди кукурудзи: Амарос, Богатир, КВС 381, Каріфолс; Макродобрива, кг/га д. р.: без добрив,  $N_{90}P_{60}K_{60}$ ,  $N_{120}P_{90}K_{90}$ ; мікродобрива: без застосування, обробка насіння YaraVita Teprosyn NP+Zn (5 л/т) і обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Maize Boost (4 л/га), обробка насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) і обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га). **Результати.** Встановлено, що вихід біогазу у середньоранніх гібридів кукурудзи Амарос і Богатир становив 9062,0–13716,3 м<sup>3</sup>/га, а у середньостиглих КВС 381 і Каріфолс 11635,3–15589,5 м<sup>3</sup>/га, що вище на 9,8–36,5 %. При застосуванні макро- і мікродобрих вихід біогазу був вищим на 15,2–30,9 % і 1,8–3,6 %, порівняно з варіантами без їх використання. Не спостерігалось суттєвої різниці за виходом біогазу між другим і третім варіантами з мікродобривами. Відмічено зменшення коефіцієнту енергетичної ефективності (Ке), у всіх досліджуваних гібридів кукурудзи, при внесенні  $N_{90}P_{60}K_{60}$  і  $N_{120}P_{90}K_{90}$ . **Висновки.** Найбільший вихід біогазу та енергії з нього 15589,5 м<sup>3</sup>/га і 333,6 ГДж/га отримано у середньостиглого гібрида Каріфолс при застосуванні передпосівної обробки насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) і обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га) на фоні  $N_{120}P_{90}K_{90}$ . З енергетичної точки зору більш ефективним, для виробництва біогазу, є вирощування гібридів кукурудзи Амарос, Богатир, КВС 381 і Каріфолс з передпосівною обробкою насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) і обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га) без внесення макро- і мікродобрих, що забезпечує одержання найвищого показника енергетичного коефіцієнту у межах 7,7–9,3.

**Ключові слова:** вихід біогазу, передпосівна обробка насіння, вихід енергії, витрати енергії, коефіцієнт енергетичної ефективності

**Вступ.** Розвиток відновлюваних джерел енергії останніми роками має не лише економіко-енергетичний, а й екологічний аспект, тому отримання енергії з біомаси є важливим завданням у багатьох країнах світу [1]. Такий стратегічний напрям використання енергії відповідає умовам сталого розвитку і стабільного існування суспільства. У зв'язку із постійним

дефіцитом викопних палив постійно зростає інтерес до їх заміни на продукти переробки рослинної сировини. Останнім часом до цього процесу підключилася і Україна, для якої технології виробництва та використання різних видів біопалив (твердого біопалива, біодизелю, біогазу, біогазу та інших) має важливе економічне значення [2]. Ще більшого значення

### Інформація про авторів:

**Грабовський Микола Борисович**, доктор с.-г. наук, професор, професор кафедри технологій в рослинництві та захисту рослин, e-mail: nikgr1977@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8494-7896>

**Павліченко Костянтин Васильович**, здобувач ступеня доктора філософії, e-mail: pavlichienko.76@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-5469-9684>

**Козак Леонід Андрійович**, канд. с.-г. наук, доцент, доцент кафедри технологій в рослинництві та захисту рослин, e-mail: kla59@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-7770-9734>

**Качан Леся Михайлівна**, канд. с.-г. наук, доцент, доцент кафедри технологій в рослинництві та захисту рослин, e-mail: lesia.kachan@btsau.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0001-5374-3252>

перехід на відновлювальні джерела енергії в нашій державі набули з початком збройної агресії Російської Федерації та обмеження імпорту енергоносіїв.

Загальний потенціал виробництва біогазу з відходів сільського господарства, харчової переробної промисловості, ТПВ, стічних вод комунального господарства та агропромислових підприємств в Україні за сучасного рівня виробництва та споживання оцінюється в 3,2 млрд м<sup>3</sup> метану на рік. Ще 3,3 млрд м<sup>3</sup> метану можна одержати при вирощуванні енергетичної кукурудзи (*Zea mays L.*) (або інших енергетичних культур) на площах 1 млн га (3 % від загальної площі орних земель в Україні). За період з 2000 р. енергетичний потенціал соломи зернових колосових культур, побічної продукції та відходів виробництва кукурудзи на зерно і сояшника в Україні збільшився у три рази – з 2,8 млн т н. е. у 2000 р. до 8,5 млн т н. е. у 2020 р. Тому вирощування кукурудзи на силос для виробництва біогазу є перспективним напрямком. Наразі важко точно оцінити вплив наслідків воєнних дій в Україні на величину/структуру енергетичного потенціалу біомаси і, загалом, на особливості розвитку біогазової галузі України у післявоєнні роки [3].

На сучасному етапі перед виробниками сільськогосподарської продукції в Україні стоїть завдання значного підвищення продуктивності кукурудзи на зерно та силос для агропромислового комплексу та відновлювальної енергетики [4–5]. Одним із важливих факторів виробництва біогазу із силосної маси кукурудзи є правильний підбір гібридів, які мають високу продуктивність і характеризуються відповідними якісними показниками [6].

Використання макроудобрив на кукурудзі достатньо вивчене [7–8] але потребує подальших досліджень питання формування продуктивності та ефективності вирощування цієї культури для виробництва біогазу при різному рівні мінерального живлення. Останнім часом все більшого значення набуває застосування в посівах сільськогосподарських культур мікроелементних препаратів для регулювання ростових процесів і посилення стійкості рослин до несприятливих гідротермічних умов, підвищення рівня врожайності та якості продукції [9]. В умовах глобальної зміни клімату, високої вартості мінеральних

удобрив важливе значення має оптимізація системи удобрення кукурудзи та забезпечення максимальної окупності витрат при її вирощуванні.

Позакореневе підживлення макроудобривами може суттєво підвищити врожайність кукурудзи в умовах дефіциту вологи. На додаток до забезпечення поживними речовинами для росту рослин, застосування азоту може підвищити стійкість рослин до посухи, щоб підвищити врожайність при дефіциті води [10].

Позакореневе внесення азоту може бути ефективнішим, ніж внесення азоту у ґрунт [11]. Комбінація ґрунтового та позакореневого внесення азотних добрив є найкращим способом забезпечення рослин азотом. Застосування 50 % азотних добрив перед сівбою та 50 % у позакореневе підживлення підвищувало врожай кукурудзи на 43 % порівняно з варіантом застосування азотних добрив (100 кг/га) лише перед сівбою [12].

Використання передпосівної обробки насіння стимулятором росту та проведення позакореневого підживлення Емістимом С в поєднанні із мінеральним добривом Еколист багатокомпонентний сприяє кращому росту і розвитку різностиглих гібридів кукурудзи та збільшенню урожайності зеленої маси у фазі воскової стиглості зерна [13].

В умовах ДП ДГ «Дніпро» ДУ Інститут зернових культур НААН урожайність зерна кукурудзи на варіантах з підживленням рослин сумішшю карбамід + мікроелементи досягала 8,30–8,78 т/га [14].

В північно-західній частині Чернігівської області максимальну урожайність зерна кукурудзи (11,23 т/га) сформовано під час застосування «Гулівер Стимул» за обробки у фазі 3 листків й обробки насіння кукурудзи «Росток кукурудза» з прибавкою 0,95 т/га до контролю [15].

Обробка рослин кукурудзи мікроудобривами позитивно вплинула на накопичення надземної сирової маси гібридів за окремими фазами розвитку. Найбільший вплив на формування сирової маси здійснив препарат Аватар-1, максимального значення показник набув у фазі молочної стиглості (54,71 т/га) у гібрида «Чонгар», що перевищило контроль на 2,4 %. Мікроудобриво Нутрімікс, в середньому за дослідом, мінімально впливало на

ростові процеси (приріст 0,50–0,83 т/га за фазами розвитку) [16].

В зоні нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу України використання норми азотних добрив 150 кг/га виявилось найефективнішим незалежно від умов року. Ефективним прийомом управління врожайністю кукурудзи є передпосівна обробка насіння сумішшю протруйників і гумінових стимуляторів, що сприяє кращому формуванню кореневої та надземної частини й дає змогу більшою мірою контролювати ураження проростків хворобами [17].

Визначення енергії, як затраченої, так і одержаної, дає можливість кількісно оцінити енергетичну ефективність вирощування сільськогосподарських культур [18]. За допомогою саме енергетичного аналізу можливо вдало поєднати різні технології вирощування тієї чи іншої культури. Одним зі шляхів підвищення ефективності енерговикористання при виробництві продукції рослинництва є оптимізація технологічних прийомів та збільшення виходу продукції з одиниці площі. Енергетичний аналіз, який є концентрованим вираженням закону збереження та перетворення енергії, дозволяє зробити порівняння енерговитрат та вмісту (приходу) енергії в одержаному врожаї [19].

*Метою досліджень* було визначення впливу макро- і мікродобрив на енергетичну ефективність вирощування гібридів кукурудзи для виробництва біогазу.

**Матеріали та методи.** Дослідження проводили в 2019–2021 рр. в СТОВ «Птахоплемзавод Коробівський» Андрушівського району Житомирської області. Повторність досліджу чотирьохразова. Грунт – чорнозем опідзолений середньосуглинистий. За агрохімічною характеристикою грунт містить 2,54 % гумусу (за методом Тюріна і Конової), азоту, що легко гідролізується – 78–95 мг/кг ґрунту (за методом Корнфільда), рухомих сполук фосфору і калію відповідно 105–130 і 110–140 мг/кг ґрунту (за методом Чирикова). Гідролітична кислотність становить 1,3–1,6 мг-екв./100г ґрунту (за методом Капена). Розміщення варіантів – систематичне. Площа облікової ділянки – 184 м<sup>2</sup>.

Дослідження проводили за наступною схемою: Фактор А. Гібриди кукурудзи. 1. Амарос (ФАО 230); 2. Богатир (ФАО

290); 3. КВС 381 (ФАО 350); 4. Каріфолс (ФАО 380). Фактор В. Макродобрива, кг/га д. р. 1. Без добрив (контроль); 2. N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>; 3. N<sub>120</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>. Фактор С. Мікродобрива. 1. Без застосування (контроль); 2. Обробка насіння YaraVita Terposyn NP + Zn (5 л/т) + обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Maize Boost (4 л/га); 3. Обробка насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) + обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га).

За погодними умовами найбільш сприятливим для росту і розвитку кукурудзи виявився 2020 р. з сумою опадів (квітень–серпень) – 332,7 мм і середньодобовою сумою температур 16,5 °С. У 2019 р. ці показники становили 193,8 мм і 17,6 °С, а у 2021 р. – 300,6 мм і 17,5 °С.

Агротехніка вирощування кукурудзи на силос була загальноприйнятою для умов правобережного Лісостепу України, крім факторів, що вивчалися. Сівбу гібридів кукурудзи проводили у 3-й декаді квітня за температури ґрунту на глибині загортання насіння 8–10 °С. Основну частину мінеральних добрив (макродобрив) вносили восени поділяючно у вигляді нітроамофоски (N<sub>16</sub>P<sub>16</sub>K<sub>16</sub>), решту азотних (аміачна селітра) – весною перед сівбою. Позакореневе підживлення YaraVita Maize Boost і YaraVita Kombiphos проводили у фазі 3–5 листків кукурудзи з нормою витрати 4 і 3 л/га, витрата робочої рідини – 300 л/га. YaraVita Terposyn NP + Zn – рідке добриво з вмістом азоту 9 %, фосфору – 6,6 %, цинку – 18 %. YaraVita Maize Boost – це рідке добриво, що містить фосфор (29,5 %), калій (5,0 %), магній (4,5 %) та цинк (3,1 %). YaraTera Tenso Cocktail – є розчинною у воді сумішшю заліза (2,1 %), марганцю (2,57 %), міді (0,53 %), кальцію (2,57 %), бору (0,52%), цинку (0,53%) в хелатній формі (EDTA). YaraVita KombiPhos містить фосфор (29,7 %), калій (5,1 %), магній (2,7 %), цинк (0,3 %) і марганець (0,7 %).

Вихід біогазу та розрахунки енергетичної ефективності проводилися згідно з методичними рекомендаціями [20–21]. *Коефіцієнт енергетичної ефективності (Ke) розраховували відношенням чистого енергетичного прибутку отриманого з біогазу до енергії, яка витрачає на вирощування зеленої маси кукурудзи.* У проведених розрахунках визначе-

но тільки витрати енергії на вирощування кукурудзи, застосування макро- і мікродобри- та транспортування зібраної зеленої маси до місця зберігання. У дослідженнях не враховані енергетичні витрати на зберігання силосної маси кукурудзи, процес збродження силосного субстрату, а також на тех-

нологічне обслуговування біогазової станції.

**Результати та обговорення.** Згідно отриманих результатів встановлено, що розрахунковий вихід біогазу та енергії з нього у досліджуваних гібридів кукурудзи залежав від застосування макро- і мікродобри- (табл. 1–2).

У середньоранніх гібридів кукурудзи

**Таблиця 1. Енергетична ефективність вирощування середньоранніх гібридів кукурудзи для виробництва біогазу залежно від застосування макро- і мікродобри- (2019–2021 рр.)**

Гібрид	Макро-добри-ва	Мікро-добри-ва *	Розрахунковий вихід біогазу, м <sup>3</sup> /га	Вихід енергії з біогазу, ГДж/га	Витрати енергії, ГДж/га	Коефіцієнт енергетичної ефективності (Ке)
Амарос	Без добрив	1	9062,0	193,9	25,7	7,5
		2	9307,5	199,2	26,5	7,5
		3	9283,1	202,4	26,2	7,7
	N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	1	10893,7	233,1	35,8	6,5
		2	10833,8	231,8	36,6	6,5
		3	11169,3	239,0	36,4	6,7
	N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	1	11857,6	253,8	41,3	6,1
		2	11931,3	255,3	42,0	6,2
		3	12009,7	261,8	41,8	6,3
Богатир	Без добрив	1	10426,4	223,1	26,5	8,4
		2	10782,4	230,7	27,4	8,5
		3	10995,6	235,3	27,3	8,7
	N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	1	12685,9	271,5	37,1	7,3
		2	12553,7	268,6	37,7	7,3
		3	12970,0	282,7	37,6	7,5
	N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	1	13258,4	283,7	42,5	6,7
		2	13386,8	286,5	43,3	6,7
		3	13716,3	294,9	43,1	6,9

\* 1. Без застосування (контроль); 2. Обробка насіння YaraVita Terrosyn NP + Zn (5 л/га) + обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Maize Boost (4 л/га); 3. Обробка насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) + обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га).

Амарос і Богатир розрахунковий вихід біогазу становив 9062,0–13716,3 м<sup>3</sup>/га, а у середньостиглих КВС 381 і Каріфолс 11635,3–15589,5 м<sup>3</sup>/га, що вище на 9,8–36,5 %. Гібриди КВС 381 і Каріфолс мали вищі значення цього показника: 11635,3–14655,6 м<sup>3</sup>/га і 12385,1–15589,5 м<sup>3</sup>/га. У гібридів Амарос і Богатир вихід біогазу був в межах 9062,0–12009,7 і 10426,4–13716,3 м<sup>3</sup>/га.

Відмічено підвищення виходу біогазу на 15,2–22,4 % при внесенні N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> та на 21,7–30,9 % при N<sub>120</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> порівняно з контролем. В середньому по гібридах, при використанні мікродобри- вихід біогазу був вищим на 1,8–3,6 % порівняно з варіантами без їх використання. Не спостерігалось суттєвої різниці за виходом біогазу між другим і третім варіантами з мікродобри-ми.

При застосуванні добрив N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> і N<sub>120</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> зростав вихід біогазу з 1 га і відповідно вихід енергії з нього. Так, у середньоранніх гібридів Амарос і Богатир вихід енергії на контролі становив 193,9–235,3 ГДж/га, на варіанті з N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> він був в межах 233,1–282,7 ГДж/га, а N<sub>120</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> – 253,8–294,9 ГДж/га. У середньостиглих гібридів КВС 381 і Каріфолс ці показники становили відповідно 249,0–278,2, 289,0–324,1 і 304,7–339,9 ГДж/га. Як і по виходу біогазу за його енергетичністю середньостиглі гібриди переважали середньоранні на 10,5–36,7 %. За рахунок високої енергетичності макро-добри- та збільшення затрат на їх підготовку і внесення відмічено зростання витрат енергії на варіантах з їх застосуванням порівняно з контрольним варіантом. Відповідно спостерігається змен-

**Таблиця 2. Енергетична ефективність вирощування середньостиглих гібридів кукурудзи для виробництва біогазу залежно від застосування макро- і мікродобрив (2019–2021 рр.)**

Гібрид	Макро-добрива	Мікро-добрива *	Розрахунковий вихід біогазу м <sup>3</sup> / га	Вихід енергії біогазу, ГДж/га	Витрати енергії, ГДж/га	Коефіцієнт енергетичної ефективності (Ке)
КВС 381	Без добрив	1	11635,3	249,0	28,7	8,7
		2	11776,7	252,0	29,6	8,7
		3	12040,2	257,7	29,4	8,9
	N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	1	13506,6	289,0	37,4	7,7
		2	13779,1	294,9	38,2	7,9
		3	13929,8	302,3	38,0	8,0
	N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	1	14236,8	304,7	43,6	7,0
		2	14442,6	309,1	44,3	7,1
		3	14655,6	313,6	44,0	7,3
Каріфолс	Без добрив	1	12385,1	265,0	29,3	9,0
		2	12400,3	265,4	29,9	9,0
		3	12760,3	273,1	29,8	9,3
	N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	1	14266,6	305,3	39,7	7,7
		2	14334,1	306,8	40,5	7,7
		3	14867,4	318,2	40,4	8,0
	N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	1	15162,5	324,5	45,4	7,1
		2	15445,9	330,5	46,1	7,3
		3	15589,5	333,6	46,0	7,4

\* 1. Без застосування (контроль); 2. Обробка насіння YaraVita Teprosyn NP + Zn (5 л/т) + обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Maize Boost (4 л/га); 3. Обробка насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) + обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га).

шення коефіцієнту енергетичної ефективності (Ке) у всіх досліджуваних гібридів кукурудзи при застосуванні N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> і N<sub>120</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>. Так, у середньоранніх гібридів на варіанті без внесення макродобрив він становив 7,5–8,7, у середньостиглих – 8,7–9,3, при внесенні N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> він зменшувався до 6,5–7,5 і 7,7–8,0, а при N<sub>120</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> до 6,1–6,9 і 7,0–7,4. Тобто найвищий коефіцієнт енергетичної ефективності (Ке) 7,5–9,3 відмічено на варіантах без застосування макродобрив.

Застосування мікродобрив також мало впливає на вихід енергії з біогазу та коефіцієнт енергетичної ефективності. У середньоранніх гібридів Амарос і Богатир на контролі (без використання мікродобрив) вихід енергії з біогазу становив 193,9–283,7 ГДж/га, а витрати енергії 25,7–42,5 ГДж/га.

У середньостиглих гібридів КВС 381 і Каріфолс ці показники були в межах 249,0–324,5 ГДж/га і 28,7–45,4 ГДж/га відповідно. При обробці насіння YaraVita Teprosyn NP + Zn (5 л/т) і обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Maize Boost (4 л/га) вихід енергії з біогазу і затрати енергії зростали на

1,3–4,4 % і 1,5–3,4 %. В той же час коефіцієнт енергетичної ефективності (Ке) був практично на одному рівні з контрольним варіантом.

При проведенні передпосівної обробки насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) і обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га) вихід енергії з біогазу та затрати енергії були в межах 200,5–299,0 і 262,5–339,5 ГДж/га та 26,2–43,1 і 29,4–46,0 ГДж/га відповідно у середньоранніх і середньостиглих гібридів. Коефіцієнт енергетичної ефективності (Ке) становив 6,3–8,7 і 7,3–9,3, що вище ніж в контролі на 1,4–4,2 %. Вища ефективність третього варіанту застосування мікродобрив, порівняно з другим, пояснюється вищим виходом біогазу та меншими енергетичними витратами.

Максимальний вихід біогазу (15589,5 м<sup>3</sup>/га) та енергії з біогазу (333,6 ГДж/га) було отримано у гібрида Каріфолс при застосуванні передпосівної обробки насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) і обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га) на фоні N<sub>120</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>. Але найви-

щий показник коефіцієнта енергетичної ефективності (9,3) одержано на варіанті без використання макроудобрив.

Основною методологічною проблемою при визначенні енергетичної ефективності виробництва біогазу та отриманих в результаті зброджування біодобрив залишається питання розподілу витрат між цими видами продукції. Від того, яким чином ці витрати будуть розраховані та розділені, залежить не лише собівартість виробництва продукції, але й енергетична ефективність самої біоенергетичної технології виробництва біогазу. За умов використання біогазу для виробництва метану або газоподібного палива та діоксиду вуглецю CO<sub>2</sub> усі енергетичні витрати розподіляються пропорційно енергетичній складовій метану (газоподібного палива) і діоксиду вуглецю CO<sub>2</sub> [23].

Як зазначалося раніше, ми в своїх розрахунках визначали енергетичні витрати при вирощуванні кукурудзи та не враховували енерговитрати, що йшли на утримання та експлуатацію біогазового обладнання, в т. ч. вартість сировини, затрати на оплату праці, амортизацію і ремонт біогазової станції, отриманих біодобрив (дегестату). Також не враховано затрати енергії на спалювання біогазу (метану) в когенераційній установці і виробництво електроенергії та тепла та енергозат-

рати на подачу їх в загальні мережі. Ці розрахунки є досить об'ємними та складними.

**Висновки.** Розрахунки енергетичної ефективності вирощування кукурудзи для виробництва біогазу показали, що найбільший вихід біогазу та енергії з нього 15589,5 м<sup>3</sup>/га і 333,6 ГДж/га отримано у середньостиглого гібриду Каріфолс при застосуванні передпосівної обробки насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) і обприскуванні кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га) на фоні N<sub>120</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>.

При застосуванні макроудобрив і мікроудобрив вихід біогазу був вищим на 15,2–30,9 % і 1,8–3,6 %, порівняно з варіантами без їх використання. Відмічено зменшення коефіцієнту енергетичної ефективності (Ke) у всіх досліджуваних гібридів кукурудзи при внесенні N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> і N<sub>120</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>.

З енергетичної точки зору більш ефективним для виробництва біогазу є вирощування гібридів кукурудзи Амарос, Богатир, КВС 381 і Каріфолс з передпосівною обробкою насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) і обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га) без внесення макроудобрив, що забезпечує одержання найвищого показника енергетичного коефіцієнту у межах 7,7–9,3.

#### Використана література

1. Забарний Г. М., Кудря С. О., Кондратюк Г. Г., Четверик Г. О. Термодинамічна ефективність та ресурси рідкого біопалива України. Київ: Ін-т відновлюваної енергетики НАН України, 2006. 226с.
2. Климчук О. В. Виробництво біологічних видів палива з біомаси сільськогосподарських культур. *Хранение и перераб. зерна*. 2012. № 9 (159). С. 38–40.
3. Гелетуха Г. Г., Железна Т. А., Драгнев С. В., Гайдай О. І. Десять кроків України для відмови від російського природного газу. 2022. *Аналитична записка UABIO*. № 28. 47 с.
4. Калетнік Г. М. Виробництво та використання біопалив: підручник, Вінниця: Консоль, 2015. 416 с.
5. Кравченко І. Й. Аспекти розвитку виробництва сільськогосподарської продукції та проміжних продуктів цукрового виробництва як сировини для переробки на біопаливо. *Інноваційна економіка*. 2014. № 5 (54). С. 107–110.
6. Кучерук П. П., Матвеев Ю. Б., Ходаківська Т. В., Грабовський М. Б. Перспективи виробництва біогазу з сумішей гнойових відходів тваринництва та рослинної сировини в Україні. *Промислова теплотехніка*. 2013. Т. 35. № 1. С. 107–113.
7. Мойсієнко В. В. Пріоритетність та шляхи підвищення продуктивності зернової та силосної кукурудзи. *Вісн. Житомирського нац. агроекологічного ун-ту*. 2015. № 1 (1). С. 190–203.
8. Танчик С. П., Центило Л. В. Особливості удобрення кукурудзи за її вирощування на чорноземі типовому в Ліссестепу України. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2017. № 269. С. 74–83.
9. Молдован Ж. А., Собчук С. І. Оцінка показників індивідуальної продуктивності рослин кукурудзи за допосівної обробки насіння та позакореневого підживлення. *Зернові культури*. 2018. Т. 2. № 1. С. 101–108. Doi: <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0014>.
10. Chipman R. B., Raper C. D., Patterson R. P. Allocation of nitrogen and dry matter for two soybean genotypes in response to water stress during reproductive growth. *Journal of Plant Nutrition*. 2001. № 24. pp. 873–884.
11. Dixon R. C. Foliar fertilization improves nutrient use efficiency. *Fertilizer Technology*. 2003. № 40. pp. 22–23.
12. Islam M. N., Paul R. K., Anwar T. M. K., Mian M. A. K. Effects of foliar application of N fertilizer on grain yield of maize. *Thai Journal of Agriculture*

- Science* 1996. № 29. pp. 323–328.
13. Сатановська І. П. Використання регуляторів росту та хелатних добрив при формуванні продуктивності різностиглих гібридів кукурудзи на силос. *Корми і кормовиробництво*. 2013. Вип. 76. С. 216–224.
  14. Дудка М. І., Якунін О. П., Ковтун О. В., Гладкий О. В. Формування врожайності зерна кукурудзи залежно від макро- і мікродобрив. *Зернові культури*. 2021. Том 5. № 1. С. 45–51.
  15. Шевченко Л. А., Чмель О. П., Хоменко С. В. Вплив мікродобрив та рістрегуляторів на продуктивність гібридів кукурудзи в умовах півночі України. *Аграрні інновації*. 2020. № 4. С. 73–78.
  16. Динаміка накопичення сирової та сухої надземної біомаси гібридами кукурудзи за краплинного зрошення / Ю. Т. Марченко та ін. *Зрошуване землеробство*. 2019. Вип. 71. С. 108–113. DOI: <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2019.71.23>
  17. Маренич М. М., Капленко В. О., Коба К. В., Голуб О. Р. Особливості управління врожайністю кукурудзи в умовах нестійкого зволоження. *Вісн. Полтавської держ. аграр. акад.* 2019. № 4. С. 43–50. <https://doi.org/10.31210/visnyk2019.04.05>
  18. Лавриненко Ю. О., Коківіхін С. В., Найдьонов В. Г. Біоенергетична оцінка технології вирощування кукурудзи на зерно залежно від гібридного складу та режиму зрошення. *Таврійський наук. вісн.* 2008. Вип. № 56. С. 11–20.
  19. Тараріко Ю. О. Системи біоенергетичного аграрного виробництва. Київ: ДІА, 2009. 16 с.
  20. Методичні рекомендації з розрахунку виходу біогазу та біогазу з біоенергетичних культур. Грабовський М. Б., Вахній С. П., Хахула В. С., Федорук Ю. В., Правдива Л. А., Панченко Т. В., Остренко М. В., Козак Л. А., Городецький О. С. Біла Церква. 2021. 28 с.
  21. Медведовський О. К., Іваненко П. І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в с.-г. виробництві. Київ: Урожай, 1988. 205 с.
  22. Кернасюк Ю. В. Науково-методологічні підходи до визначення собівартості виробництва та економічної ефективності продукції біоенергетичної утилізації гною. *Наук. пр. Кіровоградського нац. технічного ун-ту. Економічні науки*. 2010. Вип. 17. С. 164–171.
  23. Oleszek M., Matyka M. Energy Use Efficiency of Biogas Production Depended on Energy Crops, Nitrogen Fertilization Level, and Cutting System. *Bioenerg. Res.* 2020. 13. 1069–1081. <https://doi.org/10.1007/s12155-020-10147-2>

### Referense

1. Zabarnyy, H. M., Kudrya, S. O., Kondratyuk, H. H., Chetveryk, H. O. (2006). *Termodynamichna efektyvnist ta resursy ridkoho biopalyva Ukrainy* [Thermodynamic efficiency and resources of liquid biofuels of Ukraine]. Kyiv: Insytut vidnovlyuvanoyi enerhetyky NAN Ukrainy, 226 p. [in Ukrainian]
2. Klimchuk, O. V. (2012). Production of biological fuels from biomass of agricultural crops. *Khranenyє y pererabotka zerna* [Grain storage and processing], 9 (159), 38–40. [in Ukrainian]
3. Geletukha, G. G., Zhelezna, T. A., Dragnev, S. V., Gaidai, O. I. (2022). Ukraine's ten steps to abandon Russian natural gas. *Analitychna zapyska UABIO* [Analytical note UABIO], 28, 47. [in Ukrainian]
4. Kaletnik, G. M. (2015). *Vyrobnytstvo ta vykorystannya biopalyv: pidruchnyk* [Production and use of biofuels], Vinnytsia: Console, 416 p. [in Ukrainian]
5. Kravchenko, I. Y. (2014). Aspects of development of agricultural production and intermediate products of sugar production as raw materials for processing into biofuels. *Innovatsiyina ekonomika* [Innovative economy], 5 (54), 107–110. [in Ukrainian]
6. Kucheruk, P. P., Matveev, Y. B., Khodakovskaya, T. V., Grabovskiy, M. B. (2013). Prospects for biogas production from mixtures of livestock manure and vegetable raw materials in Ukraine. *Promyslova teplotekhnika* [Industrial heat engineering], 35, 1, 107–113. [in Ukrainian]
7. Moisienko, V. V. (2015). Priority and ways to increase the productivity of grain and silage corn. *Visnyk Zhytomyrskoho natsionalnoho ahroekologichnoho universytetu* [Bulletin of Zhytomyr National Agroecological University], 1 (1), 190–203. [in Ukrainian]
8. Tanchik, S. P., Centylo, L. V. (2017). Peculiarities of maize fertilizer for its cultivation on typical chernozem in the Forest-Steppe of Ukraine. *Roslynnystvo ta gruntovnavstvo* [Crop and soil science], 269, 74–83. [in Ukrainian]
9. Moldovan, J. A., Sobchuk, S. I. (2018). Estimation of indicators of individual productivity of corn plants by presowing seed treatment and foliar feeding]. *Zernovi kultury* [Grain crops] 2, 1, 101–108. Doi: <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0014>. [in Ukrainian]
10. Chipman, R. B., Raper, C. D., Patterson, R. P. (2001). Allocation of nitrogen and dry matter for two soybean genotypes in response to water stress during reproductive growth. *Journal of Plant Nutrition*, 24, 873–884.
11. Dixon, R. C. (2003). Foliar fertilization improves nutrient use efficiency. *Fertilizer Technology*, 40, 22–23.
12. Islam, M. N., Paul, R. K., Anwar, T. M. K., Mian, M. A. K. (1996). Effects of foliar application of N fertilizer on grain yield of maize. *Thai Journal of Agriculture Science*, 29, 323–328.
13. Satanovskaya, I. P. (2013). The use of growth regulators and chelated fertilizers in the formation of the productivity of different hybrids of corn for silage. *Kormy i kormovyrobnytstvo* [Feed and feed production], 76, 216–224. [in Ukrainian]
14. Dudka, M. I., Yakunin, O. P., Kovtun, O. V., Gladky, O. V. (2021). *Formuvannya vrozhaynosti zerna kukurudzy zalezno vid makro- i mikrodobryv* [Formation of corn grain yield depending on macro- and microfertilizers]. *Zernovi kultury*, 5, 1, 45–51. [in Ukrainian]
15. Shevchenko, L. A., Bumblebee, O. P., Khomenko, S. V. (2020). Influence of microfertilizers and growth regulators on the productivity of corn hybrids

- in the north of Ukraine. *Ahrarni innovatsiyi* [Agrarian innovations], 4, 73–78. [in Ukrainian]
16. Marchenko, T. Yu., Lavrinenko, Y. O., Pilyarska, O. O., Zabara, P. P., Khomenko, T. M., Mikhalenko, I. V., Ivanov, M. O. (2019). Dynamics of accumulation of raw and dry aboveground biomass by maize hybrids under drip irrigation. *Zroshuvane zemlerobstvo* [Irrigation agriculture], 71, 108–113. [in Ukrainian]
  17. Marenych, M. M., Kaplenko, V. O., Koba, K. V., Golub, O. R. (2019). Features of corn yield management in conditions of unstable moisture. *Visnyk Poltavskoyi derzhavnoyi ahrarnoyi akademiyi* [Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy], 4, 43–50. [in Ukrainian]
  18. Lavrinenko, Y. O., Kokovikhin, S. V., Naidenov, V. G. (2008). Bioenergy assessment of corn growing technology for grain depending on the hybrid composition and irrigation regime. *Tavriyskyy naukovyy visnyk* [Taurian Scientific Bulletin], 56, 11–20. [in Ukrainian]
  19. Tarariko, Y. O. (2009). *Systemy bioenerhetychnoho ahrarnoho vyrobnytstva* [Systems of bioenergy agricultural production]. Kyiv: DIA, 16 p. [in Ukrainian]
  20. *Metodychni rekomendatsiyi z rozrakhunku vykhodu biohazu ta biohazu z bioenerhetychnykh kultur* [Methodical recommendations for calculating the yield of biogas and biogas from bioenergy crops]. (2021). Grabovskiy, M. B., Vakhniy, S. P., Khakhula, V. S., Fedoruk, Y. V., Pravdyva, L. A., Panchenko, T. V., Horodetskyi, O. S., Bila Tserkva, 28 p. [in Ukrainian]
  21. Medvedovsky, O. K., Ivanenko, P. I. (1988). *Enerhetychnyy analiz intensyvnykh tekhnolohiy v silskohospodarskomu vyrobnytstvi* [Energy analysis of intensive technologies in agricultural production]. Kyiv: Urozhay, 205 p. [in Ukrainian]
  22. Kernasyuk, Yu. V. (2010). Scientific and methodological approaches to determining the cost of production and economic efficiency of bioenergetic manure disposal. *Naukovi pratsi Kirovohradskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu* [Scientific works of Kirovograd National Technical University]. Economic sciences, 17, 164–171. [in Ukrainian]
  23. Oleszek M., Matyka M. (2020). Energy Use Efficiency of Biogas Production Depended on Energy Crops, Nitrogen Fertilization Level, and Cutting System. *Bioenerg. Res.*, 13, 1069–1081. <https://doi.org/10.1007/s12155-020-10147-2>

UDC: 633.15; 631.82; 631.816

**Grabovskiy M. B., Pavlichenko K. V., Kozak L. A., Kachan L. M. Energy efficiency of maize hybrids cultivation for biogas production with using macro- and microfertilizers.**

*Grain Crops*. 2022. 6 (1). 100–107.

*Bila Tserkva National Agrarian University, 8/1 Soborna Sq., Bila Tserkva, Kyiv region, 09117, Ukraine*

**Topicality.** Nowadays, the main purpose of agro-industrial complex and renewable energy is to increase the productivity of corn for grain and silage. For biogas production the proper selection of maize hybrids and energy assessment of their cultivation technology is needed. **Issues.** Optimization of technological methods and increasing the yield per area unit is one of the ways to improve the energy efficiency of crop production, including for the purposes of bioenergy. Energy analysis assists to compare energy consumption for growing crop and energy content in the obtained yield. **Aim.** To determine the influence of macro- and microfertilizers on the energy efficiency of growing maize hybrids for biogas production. **Materials and Methods.** The research was conducted in 2019–2021 in the “Poultry Farm Korobivsky” Andrushivka district of Zhytomyr region. In a three-factor experiment, it was studied maize hybrids: Amaroc, Bogatyr, KWS 381, Karifols; macrofertilizers, kg/ha: without fertilizers,  $N_{90}P_{60}K_{60}$ ,  $N_{120}P_{90}K_{90}$ ; microfertilizers: without application, YaraVita Teprosyn NP + Zn seed treatment (5 l/t) and spraying maize in the 3–5 leaves stage with YaraVita Maize Boost (4 l/ha), seed treatment (0.15 kg/t) with YaraTera Tenso Cocktail and spraying maize in the 3–5 leaves with Yara Vita Kombiphos (3 l/ha). **Results.** It was found that the biogas output for the mid-early maize hybrids Amaroc and Bogatyr was 9062.0–13716.3 m<sup>3</sup>/ha, and for the mid-ripening KWS 381 and Karifols was higher by 9.8–36.5 % (11635.3–15589.5 m<sup>3</sup>/ha). Biogas output was higher by 15.2–30.9 % and 1.8–3.6 % due to using macrofertilizers and microfertilizers compared to the variants without their application. There was no significant difference in biogas output between the second and third variants with microfertilizers. It was identified that energy efficiency ratio (Ke) increased for studied maize hybrids when  $N_{90}P_{60}K_{60}$  and  $N_{120}P_{90}K_{90}$  were applied.

**Conclusions.** The highest biogas and energy output was 15589,5 m<sup>3</sup>/ha and 333,6 GJ/ha was obtained for the mid-ripening hybrid Karifols when pre-sowing seed treatment with YaraTera Tenso Cocktail (0.15 kg/t) and spraying maize in the 3–5 leaves stage with YaraVita Kombiphos (3 l/ha) were carried out on the background of  $N_{120}P_{90}K_{90}$ . In our opinion, for biogas production, the cultivation of Amaros, Bogatyr, KWS 381 and Carifols hybrids is more efficient when used pre-sowing seed treatment with Yara Tera Tenso Cocktail (0.15 kg/t) and spraying maize with YaraVita Kombiphos (3 l/ha) in the 3–5 leaves stage without macrofertilizer application that provides the highest energy factor in the range of 7.7–9.3.

**Key words:** biogas output, pre-sowing seed treatment, energy output, energy consumption, energy efficiency ratio.