

## ЕНЕРГЕТИЧНА ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ СОРГО В УМОВАХ ПІВДНЯ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

**М. І. Федорчук**, доктор сільськогосподарських наук, професор

ORCID: 0000-0001-7028-0915

**О. А. Коваленко**, кандидат сільськогосподарських наук, доцент

ORCID: 0000-0002-2724-3614

**В. І. Гавриш**, доктор економічних наук, професор

ORCID: 0000-0001-7055-1674

**А. В. Чернова**, здобувач

ORCID: 0000-0003-4380-9320

**В. А. Грубань**, кандидат технічних наук, доцент

ORCID: 0000-0003-0753-565X

Миколаївський національний аграрний університет

*В умовах посушливого клімату Миколаївської області і коливань температури по роках важливим напрямком підвищення продуктивності ріллі є вирощування посухостійких культур і вдосконалення технологічних прийомів, спрямованих на створення високопродуктивних агроценозів.*

*Культурою, що здатна протистояти високим температурним режимам і тривалим посухам, є сорго: для створення 1 кг сухої речовини воно витрачає води майже в 1,5 рази менше, ніж кукурудза і в 2 рази менше, ніж зернові культури. Цінність його обумовлена також універсальністю використання, здатністю давати стабільні врожаї, можливістю вирощування на малопродуктивних ґрунтах.*

*У статті висвітлено результати дослідження енергетичної ефективності вирощування цукрового та зернового сорго в умовах кліматичних змін.*

**Ключові слова:** енергетичний еквівалент, коефіцієнт енергетичної ефективності, енергетичні витрати, сорго зернове сорго цукрове, біопаливо, енергетична ефективність.

**Постановка проблеми.** Попит на енергію з роками зростає через такі фактори, як збільшення чисельності населення, урбанізація та підвищення рівня життя. Збільшення виробництва її об'ємів призвело до підвищення глобального забруднення, скорочення природних ресурсів та продуктивних площ. Ці негативні ефекти можуть бути пом'якшені, якщо застосовувати відновлювані джерела енергії та підвищувати ефективність відповідних виробничих процесів, завдяки чому споживання енергії зменшується, не впливаючи на якість життя людей [5, 6]. Низка досліджень показали, що енергетичні альтернативні джерела можуть зменшити викиди парникових газів [10].

Одним із сучасних альтернативних видів енергії є біопаливо, яке отримують з рослинної або тваринної біомаси. За даними закордонних дослідників [11], найбільше для виробництва біопалива використовують біомасу кукурудзи, міскантусу, цукрового буряку та цукрового сорго. Ці джерела мають великий потенціал як замітники

звичайних видів палива для зменшення забруднюючих викидів.

На сільськогосподарських біогазових установках найбільш широко використовується кукурудзяний силос, головною перевагою якого є стабільне виробництво біогазу та метану, що значно полегшує дозування субстрату в камеру бродіння та стабілізує роботу когенераційної установки.

У порівнянні з іншими сільськогосподарськими культурами, цукрове сорго використовує менше вологи та добрив завдяки вигідному поєднанню своїх агротехнічних та технологічних характеристик, що робить його одним з найкращих сировинних ресурсів у виробництві біопалива [13-15]. Як енергетична та кормова культура воно представляє собою великий практичний інтерес для сільського господарства у цілому та особливо для посушливих областей України. Ця культура є альтернативною для виробництва біопалив та біогазу. Сорго має велику пристосованість до

посухи, високих температур повітря та засолення ґрунту. Сорго стійкіше до посухи, ніж кукурудза, і врожайність його біомаси вища в роки з низьким рівнем опадів, однак вона варіюється залежно від сорту, умов (ґрунт, вода, клімат, шкідники та хвороби) та агротехніки вирощування [12, 16].

Ця культура більш толерантна до різноманітних умов навколишнього середовища, і її виробництво є менш енергоємним у порівнянні з виробництвом кукурудзи [16]. Це є дуже важливим фактором, оскільки енергетичні культури повинні мати позитивний енергетичний баланс. Енергетичні культури повинні характеризуватися не лише високою врожайністю біомаси, але й низькими витратами енергії, пов'язаними із сільськогосподарськими операціями. Тільки сільськогосподарські культури з високим енергетичним потенціалом та високим коефіцієнтом енергоефективності гарантують постійне та надійне постачання вихідної сировини для перетворення її на енергію.

Впровадження прогресивних технологій вирощування сорго важливо не тільки в агрономічному аспекті, а й з точки зору економіки. Економічна ефективність вирощування цукрового сорго значною мірою залежить від агротехнічних прийомів вирощування.

Ефективний процес виробництва біопалива вимагає, щоб енергія, що вкладається у технологічні процеси, включаючи його сільськогосподарський та промисловий етапи, була меншою, ніж енергія, яка залишає систему. Енергетичні баланси дозволяють оцінити та порівняти ефективність методів виробництва альтернативних енергетичних ресурсів [7]. Енергоефективність сприяє сталому розвитку сільського господарства [8] та враховує затрачену та вироблену енергію у виробничому процесі. Однак споживання енергії та її виробництво сильно відрізняються між культурами та системами виробництва. У цілому ефективність виробничого процесу вимірюється співвідношенням між отриманими вигодами та використаними ресурсами. Тому важливо правильно вибрати метод аналізу та інструменти. [9].

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Агротехнологічні основи вирощування соргових культур в Україні, у т. ч. і для зони Степу, розробляли такі відомі вчені: Калашник М. С. (1978), Олексенко Ю. Ф. (1983), Щербаков В. Я. (1983), Шепель М. А. (1989), Заварзін А. І. (1994), Красенков С. В. (2000) та інші. Проте, на сьогоднішній день, у зв'язку зі зміною клімату, питання щодо вивчення можливостей культури сорго стоїть дедалі гостріше. В останньому

десятиріччі, у зв'язку саме з цією проблемою, та з проблемою енергобезпеки країни, переглядаються традиційні підходи до вирощування польових культур у різних регіонах України. І, саме це питання більшістю вчених на сьогоднішньому рівні не вирішене повною мірою. Окремими з елементів технології займалися й зарубіжні вчені Bildirici M. E., Turhollow A., Perlack R., Eaton L., Zegada-Lizarazu W., Monti A., та інші, але стосовно ґрунтових особливостей, біологічних потенціалів польових культур, змін кліматичних умов, відповідно до місця у сівозміні, то це питання у комплексі вирішується вперше, тому одним із найважливіших завдань проекту є розробка інноваційних еколого-безпечних технологій вирощування соргових культур для забезпечення альтернативних джерел енергії залежно саме від зональних умов Степу України, його потенціалу і можливостей. Європейський досвід, за Bildirici M.E. (2013) [25], свідчить про важливість вирішення енергетичних проблем за рахунок використання альтернативних джерел енергії. У теперішній час енергетичні потреби людства забезпечуються на 35 % за рахунок нафти, вугілля – 23%, газу – 21%, ядерного палива – 7%. Ці енергетичні ресурси є не поновлюваними і, більше того, за нинішніх темпів видобування, рентабельних енергетичних ресурсів залишилось лише на декілька десятків років: вугілля – понад 200 років, газу, нафти, ядерного палива – близько 40 років. Виходячи з досліджень Turhollow A., Perlack R., Eaton L. (2014) [26], у США, починаючи з 2005 року спостерігається поступове наростання обсягів виробництва біопалива. До 2030 року прогнозується зростання ринку біоенергетичних ресурсів (енергетичних культур, залишків виробництв сільського господарства та промисловості до 1,5 млрд тон).

Для отримання біопалива вчений Matthew W. Veal (2014) [27] з університету Північної Кароліни (США) рекомендує сіяти сорго цукрове з кінцевою густиною стояння рослин на гектарі 100-125 тис. рослин. Дослідники з університету Кентуккі професор Todd Pfeiffe та Michael Montros (2013) [28] вважають, що для виробництва біоетанолу кількість рослин повинна бути дещо більшою – 150-250 тис. шт. на гектар. Адже посіви, які мають велику щільність, призводять до формування тонких стебел з меншою кількістю цукрів. Професор з агрономії Пенсільванського державного університету Грег Рос (2015) стверджує у своїй статті, що в умовах США рекомендованою нормою висіву є 150–200 тис. рослин на гектар. Дослідженнями, проведеними іранськими вченими Naser Eshaghi Sardrood та Amin Bagheri Pirouz [29] на дослідному полі агрономічного факультету Університету Табріз в Ірані (2013),

визначено вплив на продуктивність сорго цукрового біопрепаратів: Біосупер (складається з бактерій *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Pseudomonas ma Bacillus*) і Фосфат Бравар-2 (складається з бактерій *Pseudomonas i Bacillus*). Так, за обробки рослин цими препаратами упродовж вегетації отримано найбільший показник площі листової поверхні (3,48) з найменшою (0,95) у контролі. Найвищою врожайністю сухої біомаси (39 т/га) отримано за підживлення рослин препаратом Бравар-2 за її рівня у контролі 12 т/га.

**Мета дослідження.** Метою дослідження є визначення енергетичної ефективності вирощування цукрового та зернового сорго в умовах кліматичних змін. Для досягнення мети було поставлено та виконано такі завдання: досліджено тенденції змін та накопичення атмосферних опадів; виявлено тренди тенденції зміни середньої температури повітря; проведено енергетичний аналіз вирощування цукрового сорго на силос та енергетичний та економічний аналізи технології вирощування видів сорго.

**Виклад основного матеріалу.** Енергетичний аналіз у землеробстві – це оцінка витрат непоновлюваної енергії на виробництво продукції та кількості отриманої енергії з урожаєм, вираженої в одиницях енергії, зазвичай Дж та її похідних. Енергетичний аналіз дозволяє оцінювати існуючі і перспективні технології з точки зору енергетичної ефективності. Енергетичний аналіз не заміняє, а доповнює оцінку технологій за іншими критеріями (затрати праці, економічна ефективність тощо).

Відношення отриманої енергії з урожаєм до сумарної кількості витраченої антропогенної енергії називають *коефіцієнтом енергетичної ефективності*  $K_{em}$ . Він дає уявлення про енергетичну ефективність сільськогосподарського виробництва або окремих його ланок. Технологію вирощування сільськогосподарських культур можна вважати енергоощадною, якщо  $K_{em} > 1$ .

Коефіцієнт енергетичної ефективності  $K_{em}$  – це відношення енергії врожаю до сумарних енерговитрат по технології вирощування і переробки або сукупних витрат непоновлюваної енергії.

*Визначення складових енерговитрат технологій.*

Витрати антропогенної енергії ( $E_a$ ) на вирощування сільськогосподарської продукції включають такі статті: прямі, непрямі та інвестиційні витрати. Всі показники енергетичних затрат будемо визначати в розрахунку на 1 га.

Енергетичні затрати  $E_a$  на весь технологічний процес на одиницю площі (1 га) визначають за формулою:

$$E_a = E_n + E_{nn} + E_{inv},$$

де  $E_n$  – прямі витрати енергетичних ресурсів, МДж/га;  $E_{nn}$  – непрямі витрати енергетичних ресурсів (енергія, витрачена на виробництво технологічних матеріалів, таких як добрива, насіння, пестициди тощо), МДж/га;  $E_{inv}$  – інвестиційні енергетичні витрати, МДж/га.

Прямі витрати енергії (паливо, електроенергія, жива праця тощо) розраховують шляхом множення витрат палива (кг/га) або електроенергії (кВт·год/га) на відповідні енергетичні еквіваленти.

Прямі затрати енергії  $E_n$  розраховуються за наступними формулами. Для рідкого пального ці затрати підраховуються за формулою:

$$E_n = \alpha_n B_n,$$

де  $\alpha_n$  – енергетичний еквівалент пального, МДж/кг;  $B_n$  – витрата палива на одиницю площі, кг/га.

У випадку застосування електроенергії:

$$E_{ne} = \alpha_e W_e, \text{ МДж/га,}$$

де  $W_e$  – витрата електричної енергії в перерахунку на один гектар, кВт·год/га., кВт;  $\alpha_e$  – енергетичний еквівалент електричної енергії, МДж/кВт·год.

Енерговитрати живої праці. Обслуговуючий персонал, що бере участь в технологічному процесі, витрачає енергію, яка повинна бути врахована:

$$E_{ж.п} = (n_0 \alpha_{ж}^0 + n_d \alpha_{ж}^d) / W_{агр},$$

де  $E_{ж.п}$  – енерговитрати живої праці, МДж/га;  $n_0, n_d$  – відповідно кількість основних та допоміжних працівників, чол.;  $\alpha_{ж}^0, \alpha_{ж}^d$  – відповідно енергетичні еквіваленти затрат живої праці основних та допоміжних робітників, МДж/люд.-год;  $W_{агр}$  – продуктивність агрегату за годину змінного часу, га/год.

Для основних робітників  $\alpha_{ж}^0 = 1,26$  МДж/люд. год, для допоміжних  $\alpha_{ж}^d = 0,9$  МДж/люд. год.

*Непрямі витрати енергетичних ресурсів* – це витрати енергії на виробництво добрив, пестицидів, насіння та інших речовин; розраховують шляхом множення кількості внесених при вирощуванні культури агрохімікатів (кг) на відповідний енергетичний еквівалент, який дорівнює кількості антропогенної енергії, що була витрачена на виробництво діючої речовини.

Затрати енергії, які були витрачені на виробництво добрив, пестицидів, отрутохімікатів:

$$E_y = \frac{\alpha_y B_d}{T_y},$$

де  $\alpha_y$  – енергетичний еквівалент відповідної речовини, МДж/кг;  $B_d$  – норма внесення речовини,

кг/га;  $T_y$  – термін дії речовини (мінеральні добрива, пестициди, отрутохімікати – 1 рік, органічні добрива – 3 роки).

Інвестиційні енергетичні витрати – це витрати енергії технічних засобів під час виробництва (тракторів, комбайнів, сільськогосподарських машин тощо). Енергоємність засобів механізації  $E_{зм}$  (тракторів, сільськогосподарських машин, зчіпок тощо) переносять на вирощувану продукцію енергію, яку витратили на їх виробництво не повністю, а лише частково. Величину енергоємності для засобів механізації визначають за формулою:

$$E_{зм} = \frac{M_{зм} \alpha_{зм} (a_{рен} + a_{рем})}{100 \cdot T_{н(зм)} W_{агр}}$$

де  $M_{зм}$  – маса засобу механізації (трактора, зчіпки, машини тощо), кг;  $\alpha_{зм}$  – енергетичний еквівалент засобу механізації, МДж/кг (для тракторів, автомобілів, самохідних машин  $\alpha = 86,4$  МДж/кг; для зчіпок і сільськогосподарських машин  $\alpha = 75,0$  МДж/кг);  $a_{рен}$ ,  $a_{рем}$  – відповідно відрахування на реновацію та ремонт засобу механізації, %;  $T_{н(зм)}$  – нормативне річне завантаження засобу механізації, год;  $W_{агр}$  – продуктивність агрегату за годину змінного часу, га/год.

Енергоємність виконання технологічної операції буде дорівнювати сумі всіх складових енерговитрат, визначених вище.

Енергоємність стаціонарних технологічних операцій. При визначенні енергоємності стаціонарних операцій замість енерговитрат

засобів механізації визначають енергоємність виробничих приміщень:

$$E_{пр} = \frac{\alpha_{пр} F_{пр} a_{пр}}{100 T_3 W^{за}}$$

де  $\alpha_{пр}$  – енергетичний еквівалент виробничих приміщень, МДж/м<sup>2</sup>, (в більшості випадків  $\alpha_{пр} = 5025$  МДж/м<sup>2</sup>);  $F_{пр}$  – площа виробничого приміщення, м<sup>2</sup>;  $a_{пр}$  – амортизаційні відрахування на рік, %, ( $a_{пр} = 4,7\%$ );  $T_3$  – термін використання приміщення при працюючому обладнанні за рік, год.;  $W^{за}$  – продуктивність стаціонарного обладнання, яке розташоване у виробничому приміщенні, га/год.

Продуктивність стаціонарного обладнання, як правило, вимірюється в тоннах за годину. Продуктивність в гектарах за годину визначають за формулою:

$$W^{га} = \frac{W^m}{g(Y)}$$

де  $g(Y)$  – відповідно норма внесення матеріалу (наприклад, протруєння насіння перед сівбою), або урожайність культури (при переробці продукції), т/га;  $W^m$  – продуктивність обладнання, т/год.

У розрахунках використовували енергетичні еквіваленти, що наведені в табл. 1.

З даних табл. 1 видно, що з енергетичних еквівалентів основних енергетичних матеріалів найвищий енергетичний еквівалент припадає на засоби захисту рослин – 1020 МДж/кг та гербіциди – 454 МДж/кг відповідно, що в десятки разів перевищує витрати на ПММ та добрива.

Таблиця 1

**Енергетичні еквіваленти основних технологічних матеріалів**

Ресурс (речовина)	Одиниця вимірювання	Енергетичний еквівалент
<b>Енергетичні ресурси</b>		
Дизельне паливо	МДж/кг	52,8
Бензин	МДж/кг	54,4
Електрична енергія	МДж/кВт-год	12,1
<b>Добрива</b>		
Органічні добрива (вологість – 80%)	МДж/кг д.р.	0,42
<b>Мінеральні добрива:</b>		
- азотні	МДж/кг д.р.	86,8
- фосфорні	МДж/кг д.р.	12,6
- калійні	МДж/кг д.р.	8,3
<b>Біоматеріал</b>		
Насіннєвий матеріал (сорго)	МДж/кг	59,5
Силос сорго (свіжий)	МДж/кг	3,1
<b>Засоби захисту рослин</b>		
Гліфосат (гербіцид)	МДж/кг	454
ПІК (гербіцид)	МДж/кг	1020

Коефіцієнт енергетичної ефективності технології це відношення енергетичної цінності технології

готової продукції до сумарних енерговитрат по технології:

$$K_{em} = E_w/E_m = (\alpha_o V_o + \alpha_d V_d)/E_m,$$

де  $\alpha_o$ ,  $\alpha_d$  – відповідно енергетичний еквівалент основної та додаткової продукції, МДж/кг;  $V_o$ ,  $V_d$  – відповідно урожай основної та додаткової продукції, кг/га;  $E_m$  – сумарні енерговитрати по технології, МДж/га.

Для більшості сільськогосподарських культур коефіцієнт енергетичної ефективності технології повинен бути більший за одиницю. Винятком може бути картопля, у якої цей показник може дорівнювати 0,8-1,1 (залежно від урожаю).

Енергетична продуктивність (ЕП) це співвідношення між кількістю продукту, що вимірюється в одиницях маси, та енергією, необхідною для його отримання

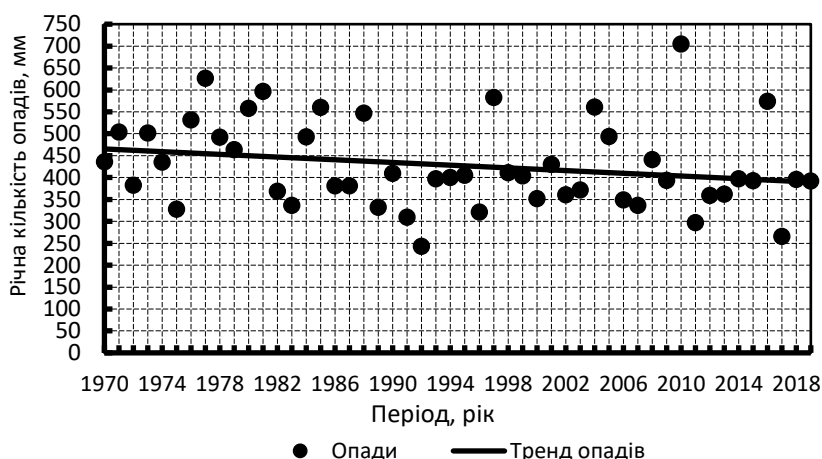
$$EP = \frac{Y_o}{E_m}, \text{ кг/МДж.}$$

Питомі витрати енергії (ПЕ) – це зв'язок між енергією, що забезпечується отриманим продуктом виробничого процесу, та кількістю продукту (-ів), що вимірюється в одиницях маси

$$PE = \frac{E_m}{Y_o}, \text{ МДж/кг.}$$

*Тенденції погодних показників: опади та середня температура повітря.*

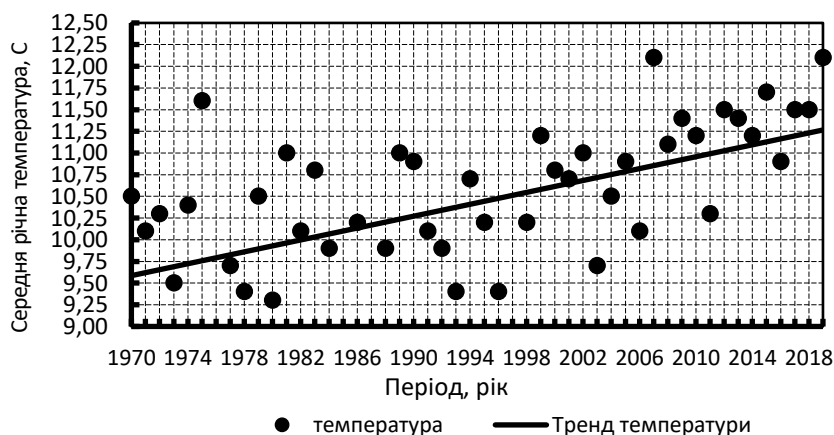
Досліди з вирощування сорго проводили в умовах Навчально-науково-практичного центру Миколаївського національного аграрного університету в с. Благодарівка Миколаївського району, Миколаївської області. Згідно з багаторічними метеоспостереженнями, прослідковується стійка тенденція до зменшення річної кількості опадів (рис. 1) [24]. Так, з 1970 року вони зменшилися з 450 до 400 мм у 2019 році, тобто на 12%. Хоча спостерігаються значні коливання в діапазоні від 250 до 705 мм. Це необхідно враховувати при виборі гібридів та технології їх вирощування.



**Рис. 1. Кількість атмосферних опадів за 1970 – 2019 рр. за даними метеорологічної станції м. Миколаєва**

Встановлено, що середньорічна температура повітря має тенденцію до зростання. За останні 50

років вона збільшилася з 9,6 до 11,25°C, тобто на 17% (рис. 2) [24].



**Рис. 2. Середня річна температура повітря за 1970 – 2019 рр. за даними метеорологічної станції м. Миколаєва**

Таким чином, багаторічні дослідження змін кліматичних показників вказує на стійке зменшення кількості опадів при збільшенні температурного режиму, що потребує підбору посухостійких високоврожайних культур.

*Енергетична оцінка цукрового сорго.*

Непрямі витрати енергії, які пов'язані з технологічними матеріалами (добрива, засоби захисту рослин та насіннєвим матеріалом) становлять 6580,14 МДж/га (табл. 2).

Таблиця 2

**Непрямі енергетичні витрати**

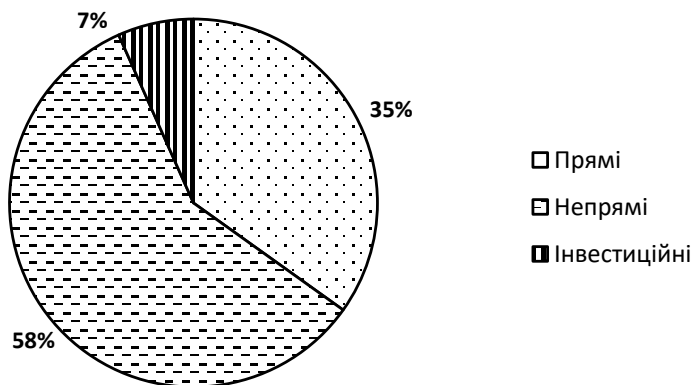
Вид технологічного матеріалу	Доза внесення, кг а.д.р./га (ц/га, т/га)	Енергетичний еквівалент, МДж/кг	Вміст енергії, МДж/га
Мінеральні добрива:			
- азотні	18,7	86,80	1623,16
- фосфорні	74,8	12,60	942,48
- калійні	0	8,30	0,00
Засоби захисту рослин:			
- Гліфосат	8	454,00	3632,00
- ПІК (гербіцид), кг/га	0,025	1020,00	25,50
Біоматеріал:			
- насіння	6	59,50	357,00
Разом:			6580,14

Сукупні енергетичні витрати становлять 11256,13 МДж/га. За отриманої урожайності 406 ц/га коефіцієнт енергетичної ефективності технології становить 11,18. Питомі витрати енергії на одиницю продукції дорівнюють 27,72 МДж/ц.

складають витрати на добрива та засоби захисту рослин – 58%. Частка інвестиційних витрат становить лише 7%. Витрати на паливо та інші енергетичні ресурси – на другій позиції з показником 35 %.

Розподіл енергії, пов'язаний із виробничими затратами, наведено на рисунку. Левову частку

Аналіз структури енерговитрат за технологічними операціями (прямі та інвестиційні витрати) показав наступне (табл. 3)



**Рис. Структура енергетичних витрат**

Таблиця 3

**Структура енерговитрат за технологічними операціями (прямі та інвестиційні витрати)**

Технологічна операція	Енергетичні витрати	
	МДж/га	%
I. Основний обробіток ґрунту та внесення мінеральних добрив	1157,01	28,20
II. Передпосівний обробіток ґрунту та посів	648,17	15,80
III. Догляд за посівами	505,99	12,33
IV. Збирання врожаю	1791,92	43,67
Разом:	4103,09	100,00

Найбільш енергоємними є операції основний обробіток ґрунту та збирання врожаю 1157,01 та 1791,92 МДж/га відповідно, що складає 28,2 або

43,7% від загальних енерговитрат по технології вирощування.

Енергетична ефективність вирощування сорго зернового та цукрового.

При аналізі використовували як власні дані, так і дані інших дослідників [17-23]. Було

досліджено три гібриди сорго зернового та 4 сорти і гібриди сорго цукрового, які в умовах півдня України дають найкращі результати (табл. 4, 5).

Таблиця 4

**Коефіцієнт енергетичної ефективності досліджуваних гібридів сорго зернового залежно від строків сівби та густоти стояння рослин**

Гібрид	Строки сівби	Густота стояння рослин, тис. шт./га			
		100	140	180	220
Сонцедар	Ранні строки сівби	2,51	2,84	2,21	2,17
	Пізні строки сівби	1,28	1,06	1,11	1,00
Бурго	Ранні строки сівби	2,01	2,45	2,26	1,97
	Пізні строки сівби	0,94	1,15	0,95	1,1
Даш Е	Ранні строки сівби	2,08	2,73	2,90	2,36
	Пізні строки сівби	1,55	1,25	1,84	1,84

Таблиця 5

**Коефіцієнт енергетичної ефективності досліджуваних сортів та гібридів сорго цукрового залежно від норми висіву, біопрепаратів і мікродобрив**

Норма висіву, тис. шт. сх. нас./га (фактор В)	Варіант позакореневого підживлення	Сорт, гібрид (Фактор А)			
		Сило 700 Д (St)	Фаворит	Медовий	Троїстий
70	Контроль (вода)	2,82	3,92	4,33	4,09
	Біокомплекс-БТУ (БК)	2,84	3,99	4,32	4,11
	комплекс Квантум (Кв)	2,65	4,11	4,56	4,18
	БК + Кв	2,68	4,14	4,58	4,25
100	Контроль (вода)	3,07	4,62	4,92	4,57
	Біокомплекс-БТУ (БК)	3,22	4,69	4,89	4,78
	комплекс Квантум (Кв)	3,26	4,80	4,95	4,77
	БК + Кв	3,16	4,81	4,85	4,78
130	Контроль (вода)	3,72	4,61	4,77	4,43
	Біокомплекс-БТУ (БК)	3,60	4,68	4,88	4,52
	комплекс Квантум (Кв)	3,56	4,81	5,03	4,62
	БК + Кв	3,55	4,80	5,08	4,67
160	Контроль (вода)	3,01	4,09	4,43	4,07
	Біокомплекс-БТУ (БК)	3,13	3,94	4,49	4,17
	комплекс Квантум (Кв)	3,28	4,19	4,79	4,20
	БК + Кв	3,30	4,20	4,72	4,18

У результаті регресійного аналізу було встановлено, що на значення коефіцієнта енергетичної ефективності технології впливають такі основні фактори: гібрид, строки сівби та густота стояння рослин. Множинна регресія має наступний вид (квадрат коефіцієнта кореляції  $R^2 = 0,807$ )

$$Ke = 3,196 + 0,148X1 - 1,118X2 - 7,327 \cdot 10^{-20} \cdot X3,$$

де  $X1$  – код гібриду;  $X2$  – строк сівби;  $X3$  – густина стояння рослин, тис. шт./га.

Проаналізуємо кореляційну матрицю залежності (табл. 6).

Таблиця 6

Кореляційна матриця

	X1	X2	X3	Y
X1	1			
X2	0	1		
X3	0	0	1	
Y	0,189886291	-0,877914358	2,6E-18	1

Як бачимо, між змінними величинами відсутній кореляційний зв'язок (коефіцієнт кореляції дорівнює  $R=0$ ). Серед змінних величин найбільший від'ємний зв'язок має строк сівби ( $R = -0,877914358$ ). Густота стояння рослин має найменший вплив ( $R = 2,6 \cdot 10^{-18}$ ).

Виконаємо аналогічне дослідження для визначення впливу опадів на енергетичну

ефективність. Множинна регресія має наступний вид (квадрат коефіцієнта кореляції  $R^2 = 0,845$ )

$$Ke = 1,074 + 0,148X_1 - 1,118 \cdot X_2 - 3,792 \cdot 10^{-19} \cdot X_3 + 5,628 \cdot 10^{-3} \cdot X_4,$$

де  $X_4$  – річні опади, мм.

Проаналізуємо кореляційну матрицю залежності (табл. 7).

Таблиця 7

Кореляційна матриця

	X1	X2	X3	X4	Y
X1	1				
X2	0	1			
X3	0	0	1		
X4	0	0	0	1	
Y	0,132187	-0,611149	5,79E-17	0,674661	1

Як бачимо, між змінними величинами відсутній кореляційний зв'язок (коефіцієнт кореляції дорівнює  $R = 0$ ). Серед змінних величин найбільший від'ємний зв'язок має строк сівби ( $R = -0,611$ ) та величина атмосферних опадів ( $R = -0,675$ ). Густота стояння рослин має найменший вплив ( $R = 5,79 \cdot 10^{-17}$ ).

**Висновки.** Проведений аналіз результатів досліджень показав, що на півдні Миколаївської області відбувається зростання середньорічної температури повітря на 17% та зменшення опадів на 12% за останні 50 років.

Енергетична ефективність виробництва силосу сорго цукрового в умовах півдня України

досягає рівня 11, а максимальне значення у деяких країнах досягає 18.

За проведеними розрахунками прямі енергетичні витрати під час вирощування сорго склали 35%, непрямі – 58%, а інвестиційні – лише 7%. Сорго зернове має в два рази менше значення коефіцієнта енергетичної ефективності (0,94-2,9) порівняно з сорго цукровим (2,65-5,08). Кореляційно-регресійний аналіз показав, що найбільший вплив на енергетичну ефективність вирощування сорго цукрового має строк сівби ( $R = -0,611$ ). Ранній строк сівби забезпечує суттєве зростання коефіцієнта енергетичної ефективності від 2,01 до 2,90.

### Список використаних джерел:

1. Lan Tian Ren, Zu Xin Liu, Tong Yang Wei, Guang Hui Xie. (2012). Evaluation of energy input and output of sweet sorghum grown as a bioenergy crop on coastal saline-alkali land. *Energy*. 47. 166-173. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2012.09.024>
2. Ikoeva V.A., Okazova Z.P. Efficiency of cultivation of sweet sorghum for green fodder and silage in the steppe zone of the republic of north Ossetia-Alania. *Modern problems of science and education*. 2014. №5. URL: <https://www.science-education.ru/en/article/view?id=14633>
3. Krzysztof Józef Jankowski, Bogdan Dubisa, Mateusz Mikołaj Sokółski, Dariusz Załuski, Piotr Bórawskia, Władysław Szempliński. (2020). Productivity and energy balance of maize and sorghum grown for biogas in a large-area farm in Poland: An 11-year field experiment. *Industrial Crops & Products*. 148. 112326. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112326>.
4. Iosvany López-Sandin, Guadalupe Gutiérrez-Soto, Adriana Gutiérrez-Díez, Nancy Medina-Herrera, Edgar Gutiérrez-Castorena1 and Francisco Zavala-García. Evaluation of the Use of Energy in the Production of Sweet Sorghum (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench) Under Different Production Systems. *Energies*. 2019. 12. 1713; doi:10.3390/en12091713
5. Su, Y.; Zhang, P.; Su, Y. An overview of biofuels policies and industrialization in the major biofuel producing countries. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2015. 50. P. 991–1003.
6. Rocha, A.; Araújo, A.; Carvalho, A.; Sepulveda, J. A. New Approach for Real Time Train Energy Efficiency Optimization. *Energies*. 2018. 11. doi:10.3390/en1102660.
7. Hacisferogullari, H.; Acaroglu, M.; Gezer, I. Determination of the energy balance of the sugar beet plant. *Energ. Source*. 2003. 25. P. 15–22.
8. Pervanchon, F.; Bockstaller, C.; Girardin, P. Assessment of energy use in arable farming systems by means of an agro-ecological indicator: the energy indicator. *Agric. Syst.* 2002. 72. P. 149–172.
9. Larnaudie, V.; Rochon, E.; Ferrari, M. D.; Lareo, C. Energy evaluation of fuel bioethanol production from sweet sorghum using very high gravity (VHG) conditions. *Renew. Energy*. 2016. 88. P. 280–287.
10. Mathur, S.; Umakanth, A. V.; Tonapi, V. A.; Sharma, R.; Sharma, M. K. Sweet sorghum as biofuel feedstock: recent advances and available resources. *Biotechnol. Biofuels*. 2017. 10. P. 146.



11. Bai, Y.; Luo, L.; van der Voet, E. Life cycle assessment of switchgrass-derived ethanol as transport fuel. *The Int. J. Life Cycle Assess.* 2010. 15. P. 468–477.
12. Mishra, J. S.; Kumar, R.; Rao, S. S. Performance of sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) cultivars as a source of green fodder under varying levels of nitrogen in semi-arid tropical India. *Sugar Tech.* 2017. 19. P. 532–538.
13. Cosedido, V.; Vacas, R.; Macarulla, B.; Gracia, M. P.; Igartua, E. Agronomic and digital phenotyping evaluation of sweet sorghum public varieties and F1 hybrids with potential for ethanol production in Spain. *Maydica.* 2013. 58. P.42–53.
14. Barcelos, C. A.; Maeda, R. N.; Santa Anna, L. M.; Pereira, N. Sweet sorghum as a whole-crop feedstock for ethanol production. *Biomass bioenergy.* 2016. 94. pp. 46–56.
15. Bonin, C. L.; Heaton, E. A.; Cogdill, T. J.; Moore, K. J. Management of sweet sorghum for biomass production. *Sugar tech.* 2016. 18. pp. 150–159.
16. Amaducci, S., Colauzzi, M., Battini, F., Fracasso, A., Perego, A., 2016. Effect of irrigation and nitrogen fertilization on the production of biogas from maize and sorghum in a water limited environment. *Eur. J. Agron.* 76. pp. 54–65.
17. Біоенергетична оцінка соргових культур / [В.Л. Курило, О.В. Яланський, В.Л. Гамандій та ін.] . Збірник наукових праць ІБКІЦБ. 2012. Вип.14. С. 554-558.
18. Біоенергетична продуктивність цукрового сорго залежно від умов азотного живлення / [В.В. Іваніна, А.О. Сипко, Г.А. Сінчук та ін.]. *Біоенергетика.* 2014. № 2. С. 25-27.
19. Бойко М.О. Вплив густоти посіву та строків сівби на продуктивність гібридів сорго зернового в умовах Півдня України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я.* 2016. Вип.3 (91). С.96-104.
20. Тараріко Ю.О. Біоенергетичне аграрне виробництво в Лісостепу України. *Вісник аграрної науки.* 2011. № 7. С. 9-13.
21. Вахрушев Н.А., Антипенко Л.Н. Энергетическая эффективность технологии производства сорго / Тезисы докладов на международной научно-практической конференции «Селекция, семеноводство, технология возделывания и переработки сорго». Зерноград, 1999. С. 24-25.
22. Алабушев А.В., Антипенко Л.Н. Энергетическая оценка производства сорговых культур. *Зерновые и кормовые культуры (селекция, семеноводство, технология возделывания)*. Зерноград, 2000. С. 4-6.
23. Іваніна В. В., Сипко А. О., Сінчук Г. А Біоенергетична продуктивність цукрового сорго залежно від умов азотного живлення. *Біоенергетика.* 2014. № 2. С. 25–27.
24. Месячные и годовые суммы выпавших осадков в Николаеве: веб-сайт. URL: [http://www.pogodaiklimat.ru/history/33846\_2.] (дата звернення: 02.11.2020).
25. Melike E.Bildirici Economic growth and biomass energy. *Biomass and Bioenergy.* Volume 50, March 2013, Pages 19-24.
26. Anthony Turhollow; Robert Perlack; Laurence Eaton and others The updated billion-ton resource assessment. *Biomass and Bioenergy*, Volume 70, 2014; pp. 149-164. URL: [https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/47693] (дата звернення: 02.11.2020).
27. Matthew W. Veal, Assistant Professor and Extension Specialist Mari S. Chinn, Associate Professor Matthew B. Whitfield Sweet Sorghum Production to Support Energy and Industrial Products. *North Carolina Cooperative Extension.* 2014 – 8 p. [http://content.ces.ncsu.edu/sweet-sorghum-production-to-support-energy-and-industrial-products].
28. Todd Pfeiffe, Michael Montros Sweet Sorghum for Biofuel. *University of Kentucky,* 2013. URL: [https://www.uky.edu/ccd/sites/www.uky.edu/ccd/files/sorghumbiofuel.pdf] (дата звернення: 02.11.2020).
29. Seied Naser Eshaghi Sardrood Effect of chemical fertilizers and bio-fertilizers application on some morpho-physiological characteristics of forage sorghum / Seied Naser Eshaghi Sardrood, Amin Bagheri Pirouz and Behzad Shokati. *International journal of Agronomy and Plant Production.* Vol., 4 (2), Pages 223 – 231, 2013 URL: [http://eprints.icrisat.ac.in/11527/1/IJAPP\_4\_2\_223\_231\_2013.pdf] (дата звернення: 02.11.2020).

М. И. Федорчук, О. А. Коваленко, В. И. Гавриш, А. В. Чернова, В. А. Грубань.  
**Энергетическая оценка технологии выращивания сорго в условиях юга Николаевской области**

В условиях засушливого климата Николаевской области и колебаний температуры по годам важным направлением повышения продуктивности пашни является выращивание засухоустойчивых культур и совершенствование технологических приемов, направленных на создание высокопроизводительных агроценозов. Культурой, которая способна противостоять высоким температурным режимам и длительным засухам, является сорго: для создания 1 кг сухого вещества оно тратит воды почти в 1,5 раза меньше, чем кукуруза и в 2 раза меньше, чем зерновые культуры. Ценность его обусловлена также универсальностью использования, способностью давать стабильные урожаи, возможностью выращивания на малопродуктивных почвах. В статье проведена оценка энергетической эффективности выращивания сахарного и зернового сорго в условиях климатических изменений.

**Ключевые слова:** энергетический эквивалент, коэффициент энергетической эффективности, энергетические затраты, сорго зерновое сорго сахарное, биотопливо, энергетическая эффективность.

M. Fedorchuk, O. Kovalenko, V. Havrish, A. Chernova, V. Hruban. **ENERGY EVALUATION OF SORGHUM GROWING TECHNOLOGY IN THE SOUTH OF MYKOLAIV REGION**

*In the conditions of a high drought of climate of the Nikolaev area and fluctuations of temperature on years the important direction of increase of productivity of arable land is cultivation of drought-resistant cultures and improvement of the technological receptions directed on creation of highly productive agrocenoses. Sorghum is a crop that can withstand high temperatures and prolonged droughts: to consume one kg of dry matter, it consumes almost 1.5 times less water than corn and 2 times less than cereals. Its value is also due to the versatility of use, the ability to give stable yields, the possibility of growing on unproductive soils. This article evaluates the energy efficiency of growing sugar and grain sorghum in the context of climate change.*

**Keywords:** energy equivalent, energy efficiency coefficient, energy costs, grain sorghum, sweet sorghum, biofuel, energy efficiency.