

УДК 663.62:631.5/9

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.108.14>

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ СОРГО ЦУКРОВОГО ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ НА БІОПАЛИВО

**Сторожик Л.І.** – д.с.-г.н., с.н.с., головний науковий співробітник,

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків

Національної академії аграрних наук України

**Музика О.В.** – здобувач,

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків

Національної академії аграрних наук України

У статті висвітлені результати дослідження з виявлення особливостей формування сумарного виходу енергії з отриманим урожаєм сорго цукрового за переробки його на біопаливо. Максимальні показники виходу твердого біопалива отримано за ширини міжрядь у 45 см та норми висіву до 250 тис. шт./га і застосування обробки насіння стимулятором росту Вимпел 2 (0,5 л/т) + позакореневе застосування в фазу кущення (0,5 л/га): у гібрида Довіста збір з 1 га становив 28,43 т/га, а гібрида Гулівер – відповідно 23,72 т/га.

Аналогічні варіанти, які формували максимальну кількість твердого біопалива, сприяли отриманню і максимальних параметрів енергії з одиниці площі: гібрид Довіста сформував енергії 453,49 ГДж/га, а гібрид Гулівер – 378,27 ГДж/га.

За ширини міжрядь у 45 см та підвищення норми висіву і застосування обробки насіння стимулятором росту Вимпел 2 (0,5 л/т) + позакореневе застосування в фазу кущення (0,5 л/га) посіви сорго формували і максимальні значення виходу біоетанолу за збору енергії, сконцентрованої в паливі. Так, за густоти рослин 250 тис. шт./га у гібрида Довіста з 1 га вихід біоетанолу становив 3,79 т/га, а у гібрида Гулівер – відповідно 3,59 т/га. У цих варіантах збір енергії досяг значень відповідно 94,67 та 89,56 ГДж/га, що є максимальними показниками, отриманими в досліді загалом.

Виявлено, що у гібрида Довіста збір енергії з 1 га становив 457,35 ГДж/га, а у гібрида Гулівер – 467,82 ГДж/га, Кее був у межах 14,46 та 12,34 відповідно. За основу розрахунку економічної ефективності аналізували технологічні карти, використовувані у виробництві сорго зернового та сорго цукрового в умовах Лісостепу України.

Встановлено, що отриманий прибуток був найвищим у обох досліджуваних гібридів Довіста і Гулівер за сівки насіння з шириною міжрядь 45 см та густотою стояння рослин 250 тис. шт./га та обробки насіння стимулятором росту Вимпел 2 (0,5 л/т) + позакореневе застосування у фазу кущення (0,5 л/га), і становив 29225 та 26635 грн/га відповідно. Рівень рентабельності за цих показників найвищий і становить 156,3% у гібрида Довіста та 142,4% – у гібрида Гулівер.

**Ключові слова:** сорго цукрове, гібриди, стимулятор росту рослин, збір енергії, тверде біопаливо, біоетанол.

### **Storozhyk L.I., Muzyka O.V. Efficiency of growing sorgo muscle for bio-food processing**

The article highlights the results of the study on the identification of the peculiarities of the formation of the total energy output with the yield of sugar sorghum for its processing into bio-fuels. Maximum indices of solid biofuel yield were obtained for widths of row spacings of 45 cm and seed rates of up to 250 thousand pcs./ha and the application of seed treatment with growth stimulator Vympel 2 (0.5 l/t) + foliar application in the buccal phase (0.5 l/ha): in the hybrid of Davisa, the tax of 1 hectare was 28.43 t/ha, while the Gulliver hybrid was 23.72 t/ha respectively.

Similar variants that formed the maximum amount of solid biofuels, contributed to the receipt and maximum energy per unit area: the Dovista hybrid generated energy 453.49 GJ/ha, and the Gulliver hybrid was 378.27 GJ/ha.

For widths of row spacings of 45 cm and increasing the seed rate and application of seed treatment with growth stimulator Vympel 2 (0.5 l/t) + foliar application in the buckling phase (0.5 l/ha) of sorghum crops were formed and the maximum values of the yield of bioethanol for collection energy is concentrated in fuel. Thus, for plant density 250 thousand pounds/ha in the hybrid Dovista, 1 ha of bioethanol was 3.79 t/ha, while in the Gulliver hybrid, 3.59 t/ha respectively. In these variants the energy collection reached the values of 94.67 and 89.56 GJ/ha respectively, which are the maximum values obtained in the experiment as a whole.

*It was found that the Dovista hybrid collected energy from 1 hectare was 457.35 GJ/ha, while in the Gulliver hybrid – 467.82 GJ/ha, KEE was within the range of 14.46 and 12.34 respectively. Based on the calculation of economic efficiency, technological maps used in the production of grain sorghum and sugar sorghum in the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine were analyzed.*

*The obtained profit was found to be the highest in both of the studied Dovista and Gulliver hybrids for seeding with a width of rows of 45 cm and plant density of 250 thousand pounds per hectare and seed treatment with growth stimulator Vympel 2 (0.5 l/t) + foliar application in the buckling phase (0.5 l/ha) and amounted to 29,225 and 26,635 UAH/ha respectively. The profitability level for these indicators is the highest and stands at 156.3% for the Dovista hybrid and 142.4% for the Gulliver hybrid.*

**Key words:** *sorghum, hybrids, plant growth stimulator, energy collection, solid biofuels, bioethanol.*

**Постановка проблеми.** Виробництво енергії в Україні, на жаль, дотепер базується на основі викопних видів палива та експлуатації ресурсів наявних гідро- та атомних електростанцій. Попри активізацію роботи в створенні альтернативних виробників енергії з поновлювальних ресурсів та зелений тариф, основним напрямом роботи залишається організація нових сонячних та вітроелектростанцій. По суті, це ресурс відновлювальний, але фактично – неконтрольований та періодичний, на відміну від виробництва електроенергії з рослинної сировини [1].

Крім того, зважаючи на те, що вітчизняне аграрне виробництво розвивається шляхом інтенсифікації та використовує більші обсяги енергії для забезпечення виробництва продукції, то й потрібно формувати шляхи її забезпечення. Адже там, де ресурси природи обмежені, створення додаткової продукції забезпечується за рахунок додаткових затрат енергії удобрення, засобів захисту, використання широкозахватних машин, поливу тощо [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** А отже, для оптимального використання енергії в технології вирощування сільськогосподарських культур потрібно не тільки раціонально використовувати фактори інтенсифікації, а й розробляти нові та впроваджувати наявні ресурсозберігаючі технології [3].

Так, досвід учених показує, що дослідження енергетичної ефективності технології вирощування сорго є одним з найбільш ефективних методів аналізу затрат енергії, необхідних для вирощування сільськогосподарської культури. Адже грошовий вираз технології вирощування залежить від кон'юнктури ринкових цін, що сформувались нині, і якщо є попит на певну сировину, то для її отримання може витратитись більше енергії, ніж концентрується в отриманому врожаї. З точки зору економічної ефективності виробництва це ніяк не впливає на розміри отриманого прибутку, а от з точки зору раціональних витрат енергії на виробництво одиниці продукції потрібно витрачати менше енергії, ніж можна отримати з урожаєм [4; 5].

Так, на основі встановлення енергетичних витрат, управління потоками енергії та їх оптимізації Європейський Союз запровадив доволі суворі вимоги, описані в директиві сталості виробництва біомаси. Ті культури, на вирощування яких витрачається занадто багато енергії або ж у процесі вирощування вивільняються великі кількості вуглекислого газу, з часом будуть замінюватись більш ефективними видами в плані раціонального виробництва з отриманої сировини біопалива [5].

А отже, раціональне використання непоновлюваних видів енергії для вирощування сільськогосподарських культур передбачає неухильне дотримання елементів технологій вирощування, раціонального використання природних ресурсів та ефективного забезпечення потреб рослин у недостаючих факторах живлення, а також ефективного використання виробничого потенціалу [6; 7].

Відповідно, затрати енергії, які потрібні були на виконання основних агротехнічних операцій з догляду за посівами та дотримання елементів технології, що вивчалися у дослідях з сорго цукровим, визначались відповідно до технологічних карт. Згідно з рекомендаціями щодо визначення біоенергетичної ефективності всі затрати на технологію вирощування культури мають енергетичний еквівалент. Використання енергетичних еквівалентів дає можливість оцінити працю та матеріально-технічні засоби в одиницях єдиного показника та за його допомогою визначити відсоток вкладу кожного елемента у формування врожаю. А тому витрати на роботу машин, насіння, добрива, пестициди, пально-мастильні матеріали, людську працю розраховуються в одній системі одиниць [7].

Сорго цукрове придатне для переробки на різні види біопалива. Так, рослини здатні накопичувати у стеблах велику кількість розчинних вуглеводів та формувати високий вміст сухої речовини. А тому цукрове сорго як рослина, пристосована до агрокліматичних умов України, є однією з найбільш високоенергетичних та економічно вигідних культур серед усіх однорічних злакових [8].

Відповідно до вищевикладеного отриманий сік зі стебел цукрового сорго можна використовувати для отримання біоетанолу. Після отримання соку вологість стебел цукрового сорго перебуває в межах 20–25%, тому вони можуть бути сировиною для виробництва паливних гранул та брикетів, крім того, подрібнені рослини у вигляді силосу можна використовувати і для виробництва біогазу в спеціальних біогазових реакторах [7; 8]. Однак, зважаючи на пропорційність затрат на організацію виробництва для проведення наших розрахунків, будемо використовувати варіант переробки сорго цукрового на біоетанол та тверді види палива. Адже є ціла низка публікацій, в яких відзначаються значно більші затрати енергії на виробництво біогазу, що пов'язані не тільки з втратою частини енергії, а й необхідністю мікроорганізмам синтезувати високомолекулярні вуглеводні, що й спричиняє дещо менший збір енергії порівняно з традиційними вже способами переробки на біоетанол та тверді види палива.

**Постановка завдання. Мета статті** – встановити особливості формування продуктивності гібридів сорго цукрового залежно від елементів технології вирощування в умовах Лісостепу України та визначити їхню енергетичну ефективність для переробки на біопаливо.

Експериментальні дослідження проводили впродовж 2016–2018 років в умовах Білоцерківської дослідно-селекційної станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, що належить до зони нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України.

Чотирифакторний польовий дослід закладався за такою схемою: Фактор А: гібриди Довіста, Гулівер. Фактор Б: ширина міжрядь: 45 см; 70 см. Фактор В: густина рослин: 150 тис. шт./га, 200 тис. шт./га, 250 тис. шт./га. Фактор Г: обробка насіння стимулятором росту: Контроль – насіння обробляли водою. Обробка насіння стимулятором росту Вимпел 2 (0,5 л/т) + позакореневе застосування у фазу кущення (0,5 л/га).

Обробку насіння сорго цукрового проводили безпосередньо перед сівбою. На варіантах, де не застосовували регулятор росту Вимпел 2, насіння обробляли водою. Площа посівної ділянки – 50 м<sup>2</sup>, облікової – 25 м<sup>2</sup>. Дослід закладався рендомізовано. Повторюваність дослідів – чотириразова.

Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем типовий глибокий малогумусний крупнопилувато середньосуглинкового гранулометричного складу. В орному шарі (0–30 см) міститься: гумусу – 3,5%, загального азоту – 0,31%; гідролітична кис-

лотність – 2,41 мг-екв.; легкогідролізованого азоту (N) – 13,4 мг,  $P_2O_5$  – 27,6 мг,  $K_2O$  – 9,8 мг на 100 г ґрунту. Ступінь насиченості основами – 90%.

Погодні умови років досліджень були доволі контрастними. Так, у 2016 р. за квітень–вересень випало опадів відповідно 126, 207, 52, 29, 37 і 13% до середньобагаторічного показника. А от 2017 рік виявився найбільш посушливим та за аналогічні місяці випало 55, 71, 39, 73, 7 і 20% до середньобагаторічного показника. Кількість опадів за вегетаційний період 2018 р. становила 286,4 мм, за сільськогосподарський рік – 546,6 мм, або 83 і 97 %, а температура місяців вегетаційного періоду на 1,5–4,5°C перевищувала середні багаторічні.

Статистичну обробку результатів досліджень проводили за методом дисперсійного аналізу з використанням комп'ютерного програмного забезпечення Excel, Statistica 6.0 [9; 10].

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Енергетичний аналіз технології вирощування сорго цукрового завершується визначенням енергетичного балансу (коефіцієнта енергетичної ефективності вирощування) – співвідношення кількості енергії, що накопичена в отриманій продукції стосовно кількості енергії, використаної на формування врожаю.

Розрахунки ефективності технологій, технологічних процесів вирощування культури велися на основі технологічних операцій, що проводились у дослідях. Дані з вивчення виходу біопалива та енергії за вирощування сорго цукрового залежно від ширини міжрядь, густоти та обробки регулятором росту подані в таблиці 1. Отриманий рівень продуктивності рослин сорго цукрового за відповідного його якісного складника дав змогу забезпечити оптимальні показники формування виходу з одиниці площі біопалива та відповідно енергії, сконцентрованої в ньому.

За результатами розрахунку виходу твердого біопалива зі стандартною вологістю 11% встановлено, що мінімальні параметри були за вирощування сорго цукрового з густотою посівів 150 тис. шт./га на обох ширинах міжрядь. Так, у гібрида Довіста отримано 7,82–10,57 т/га біопалива, а у гібрида Гулівер – відповідно 7,20–9,84 т/га.

За ширини міжрядь у 45 см та збільшення норми висіву і застосування обробки насіння стимулятором росту Вимпел 2 (0,5 л/т) + позакореневе застосування у фазу кушення (0,5 л/га) посіви формували максимальні значення виходу твердого біопалива. Так, за густоти посівів 250 тис. шт./га у гібрида Довіста збір з 1 га біопалива був 28,43 т/га, а у гібрида Гулівер – відповідно 23,72 т/га.

Аналогічні варіанти, які формували максимальну кількість твердого біопалива, сприяли отриманню і максимальних параметрів енергії з одиниці площі. Так, встановлено, що за ширини міжрядь у 45 см та норми висіву 250 тис. шт./га і застосування обробки насіння стимулятором росту Вимпел 2 (0,5 л/т) + позакореневе застосування в фазу кушення (0,5 л/га) гібрид Довіста формував 453,49 ГДж/га, а гібрид Гулівер – 378,27 ГДж/га відповідно.

За аналогією показників виходу твердого біопалива вихід біоетанолу був мінімальним за вирощування сорго цукрового за густоти посівів 150 тис. шт./га на обох ширинах міжрядь. Так, у гібрида Довіста отримано 1,90–2,38 т/га біопалива, а в гібрида Гулівер – відповідно 1,80–2,18 т/га.

За ширини міжрядь у 45 см та підвищення норми висіву і застосування обробки насіння стимулятором росту Вимпел 2 (0,5 л/т) + позакореневе застосування у фазу кушення (0,5 л/га) посіви формували максимальні значення виходу біоетанолу за збору енергії, сконцентрованої в паливі. Так, за густоти посівів

Таблиця 1

**Вихід біопалива та енергії за вирощування сорго цукрового залежно від ширини міжрядь, густоти та обробки регулятором росту**

| Гібрид<br>(фактор А) | Ширина<br>міжрядь, см<br>(фактор Б) | Густина,<br>тис. шт./га<br>(фактор В) | Обробка<br>регулятором росту<br>(фактор Г) | Вихід з 1 га                             |                                      |                              |       |
|----------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--|--|--------------------------------------|------------------------------|-------|
|                      |                                     |                                       |  | твердого біопалива<br>(вологість 11%), т | енергії з твердого<br>біопалива, ГДж | енергії<br>з біоетанолу, ГДж |       |
| Довіста              | 150                                 | 45                                    | Контроль                                   | 9,18                                     | 146,46                               | 2,09                         | 52,19 |
|                      |                                     |                                       | Вимпел 2                                   | 10,57                                    | 168,66                               | 2,38                         | 59,32 |
|                      | 200                                 | 45                                    | Контроль                                   | 15,38                                    | 245,33                               | 2,47                         | 61,62 |
|                      |                                     |                                       | Вимпел 2                                   | 18,23                                    | 290,81                               | 2,87                         | 71,50 |
|                      | 250                                 | 45                                    | Контроль                                   | 23,69                                    | 377,91                               | 3,18                         | 79,44 |
|                      |                                     |                                       | Вимпел 2                                   | 28,43                                    | 453,49                               | 3,79                         | 94,67 |
| 70                   | 150                                 | 45                                    | Контроль                                   | 7,82                                     | 124,67                               | 1,90                         | 47,51 |
|                      |                                     |                                       | Вимпел 2                                   | 9,11                                     | 145,38                               | 2,18                         | 54,47 |
|                      | 200                                 | 45                                    | Контроль                                   | 13,98                                    | 223,01                               | 2,28                         | 56,88 |
|                      |                                     |                                       | Вимпел 2                                   | 16,63                                    | 265,23                               | 2,62                         | 65,46 |
|                      | 250                                 | 45                                    | Контроль                                   | 20,02                                    | 319,34                               | 2,93                         | 73,08 |
|                      |                                     |                                       | Вимпел 2                                   | 23,87                                    | 380,68                               | 3,45                         | 86,05 |
| Гулівер              | 150                                 | 45                                    | Контроль                                   | 7,99                                     | 127,51                               | 1,90                         | 47,41 |
|                      |                                     |                                       | Вимпел 2                                   | 9,84                                     | 156,87                               | 2,18                         | 54,44 |
|                      | 200                                 | 45                                    | Контроль                                   | 14,76                                    | 235,39                               | 2,35                         | 58,52 |
|                      |                                     |                                       | Вимпел 2                                   | 17,28                                    | 275,63                               | 2,72                         | 67,94 |
|                      | 250                                 | 45                                    | Контроль                                   | 19,43                                    | 309,85                               | 3,09                         | 77,09 |
|                      |                                     |                                       | Вимпел 2                                   | 23,72                                    | 378,27                               | 3,59                         | 89,56 |
| 70                   | 150                                 | 45                                    | Контроль                                   | 7,20                                     | 114,79                               | 1,80                         | 45,01 |
|                      |                                     |                                       | Вимпел 2                                   | 8,63                                     | 137,65                               | 2,06                         | 51,43 |
|                      | 200                                 | 45                                    | Контроль                                   | 12,94                                    | 206,34                               | 2,17                         | 54,07 |
|                      |                                     |                                       | Вимпел 2                                   | 15,41                                    | 245,73                               | 2,50                         | 62,48 |
|                      | 250                                 | 45                                    | Контроль                                   | 18,09                                    | 288,48                               | 2,82                         | 70,24 |
|                      |                                     |                                       | Вимпел 2                                   | 21,36                                    | 340,75                               | 3,30                         | 82,28 |

Таблиця 2

**Енергетична ефективність вирощування сорго цукрового залежно від ширини міжрядь, густоти та обробки регулятором росту**

| Гібрид (фактор А) | Ширина міжрядь, см (фактор Б) | Густина, тис. шт./га (фактор В) | Обробка регулятором росту (фактор Г) | Заграти енергії на 1 га, ГДж | Сумарний вихід енергії, ГДж/га | Коефіцієнт енергетичної ефективності |
|-------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| Довіста           | 45                            | 150                             | Контроль                             | 37,7                         | 198,65                         | 5,27                                 |
|                   |                               |                                 | Вимпел 2                             | 37,8                         | 227,98                         | 6,03                                 |
|                   |                               | 200                             | Контроль                             | 37,8                         | 306,96                         | 8,12                                 |
|                   |                               |                                 | Вимпел 2                             | 37,8                         | 362,32                         | 9,59                                 |
|                   |                               | 250                             | Контроль                             | 37,9                         | 457,35                         | 12,07                                |
|                   |                               |                                 | Вимпел 2                             | 37,9                         | 548,16                         | 14,46                                |
|                   | 70                            | 150                             | Контроль                             | 37,7                         | 172,18                         | 4,57                                 |
|                   |                               |                                 | Вимпел 2                             | 37,8                         | 199,85                         | 5,29                                 |
|                   |                               | 200                             | Контроль                             | 37,8                         | 279,89                         | 7,40                                 |
|                   |                               |                                 | Вимпел 2                             | 37,8                         | 330,68                         | 8,75                                 |
|                   |                               | 250                             | Контроль                             | 37,9                         | 392,43                         | 10,35                                |
|                   |                               |                                 | Вимпел 2                             | 37,9                         | 466,73                         | 12,31                                |
| Гулівер           | 45                            | 150                             | Контроль                             | 37,7                         | 174,92                         | 4,64                                 |
|                   |                               |                                 | Вимпел 2                             | 37,8                         | 211,32                         | 5,59                                 |
|                   |                               | 200                             | Контроль                             | 37,8                         | 293,91                         | 7,78                                 |
|                   |                               |                                 | Вимпел 2                             | 37,8                         | 343,56                         | 9,09                                 |
|                   |                               | 250                             | Контроль                             | 37,9                         | 386,94                         | 10,21                                |
|                   |                               |                                 | Вимпел 2                             | 37,9                         | 467,82                         | 12,34                                |
|                   | 70                            | 150                             | Контроль                             | 37,7                         | 159,79                         | 4,24                                 |
|                   |                               |                                 | Вимпел 2                             | 37,8                         | 189,09                         | 5,00                                 |
|                   |                               | 200                             | Контроль                             | 37,8                         | 260,42                         | 6,89                                 |
|                   |                               |                                 | Вимпел 2                             | 37,8                         | 308,21                         | 8,15                                 |
|                   |                               | 250                             | Контроль                             | 37,9                         | 358,72                         | 9,47                                 |
|                   |                               |                                 | Вимпел 2                             | 37,9                         | 423,03                         | 11,16                                |

Таблиця 3

**Економічна ефективність вирощування сорго цукрового залежно від ширини міжрядь, густоти та обробки регулятором росту**

| Гібрид (фактор А) | Ширина міжрядь, см (фактор Б) | Густина, тис. шт./га (фактор В) | Обробка регулятором росту (фактор Г) | Собівартість, грн/т | Собівартість виробництва продукції, грн/га | Виручка від реалізації продукції, грн/га | Прибуток, грн/га | Рівень рентабельності, % |
|-------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---------------------|--|--|------------------|--------------------------|
| Довіста           | 45                            | 150                             | Контроль                             | 340,7               | 17900                                      | 26419                                    | 8519             | 47,6                     |
|                   |                               |                                 | Вимпел 2                             | 307,9               | 18300                                      | 30031                                    | 11731            | 64,1                     |
|                   |                               | 200                             | Контроль                             | 294,3               | 18100                                      | 31194                                    | 13094            | 72,3                     |
|                   |                               |                                 | Вимпел 2                             | 261,0               | 18500                                      | 36196                                    | 17696            | 95,7                     |
|                   |                               | 250                             | Контроль                             | 235,8               | 18300                                      | 40214                                    | 21914            | 119,8                    |
|                   |                               |                                 | Вимпел 2                             | 195,1               | 18700                                      | 47925                                    | 29225            | 156,3                    |
|                   | 70                            | 150                             | Контроль                             | 376,2               | 17900                                      | 24050                                    | 6150             | 34,4                     |
|                   |                               |                                 | Вимпел 2                             | 336,2               | 18300                                      | 27574                                    | 9274             | 50,7                     |
|                   |                               | 200                             | Контроль                             | 318,3               | 18100                                      | 28794                                    | 10694            | 59,1                     |
|                   |                               |                                 | Вимпел 2                             | 280,7               | 18500                                      | 33135                                    | 14635            | 79,1                     |
|                   |                               | 250                             | Контроль                             | 250,8               | 18300                                      | 36995                                    | 18695            | 102,2                    |
|                   |                               |                                 | Вимпел 2                             | 220,6               | 18700                                      | 43562                                    | 24862            | 132,9                    |
| Гулівер           | 45                            | 150                             | Контроль                             | 382,0               | 17900                                      | 24001                                    | 6101             | 34,1                     |
|                   |                               |                                 | Вимпел 2                             | 338,9               | 18300                                      | 27560                                    | 9260             | 50,6                     |
|                   |                               | 200                             | Контроль                             | 312,0               | 18100                                      | 29626                                    | 11526            | 63,7                     |
|                   |                               |                                 | Вимпел 2                             | 272,4               | 18500                                      | 34391                                    | 15891            | 85,9                     |
|                   |                               | 250                             | Контроль                             | 236,1               | 18300                                      | 39024                                    | 20724            | 113,2                    |
|                   |                               |                                 | Вимпел 2                             | 210,1               | 18700                                      | 45335                                    | 26635            | 142,4                    |
|                   | 70                            | 150                             | Контроль                             | 394,0               | 17900                                      | 22783                                    | 4883             | 27,3                     |
|                   |                               |                                 | Вимпел 2                             | 354,3               | 18300                                      | 26037                                    | 7737             | 42,3                     |
|                   |                               | 200                             | Контроль                             | 336,3               | 18100                                      | 27374                                    | 9274             | 51,2                     |
|                   |                               |                                 | Вимпел 2                             | 295,2               | 18500                                      | 31628                                    | 13128            | 71,0                     |
|                   |                               | 250                             | Контроль                             | 262,6               | 18300                                      | 35557                                    | 17257            | 94,3                     |
|                   |                               |                                 | Вимпел 2                             | 226,4               | 18700                                      | 41651                                    | 22951            | 122,7                    |

250 тис. шт./га у гібрида Довіста вихід з 1 га біоетанолу був 3,79 т/га, а у гібрида Гулівер – відповідно 3,59 т/га. У цих варіантах збір енергії був відповідно 94,67 та 89,56 ГДж/га, що є максимальними показниками, отриманими в досліді загалом.

Після визначення кількості отриманої енергії з урожаєм варто сконцентруватися на ефективності досліджуваної технології вирощування сорго цукрового та її окремих елементів. Так, дані енергетичної ефективності вирощування сорго цукрового залежно від ширини міжрядь, густоти та обробки регулятором росту наведено в таблиці 2.

Зважаючи на особливості окремих елементів технології вирощування гібридів сорго цукрового, основні відмінності за різної ширини міжрядь та густоти посівів полягали лише в просторовій оптимізації розташування рослин по поверхні поля. А тому варіанти з різною шириною посівів, нормою висіву та застосуванням стимулятора росту рослин відрізнялись між собою не більше ніж на 0,1–0,3 ГДж/га, за середнього значення по досліді 37,8 ГДж/га.

Сумарний вихід енергії з врожаю формувалася як складник отриманого твердого біопалива зі стандартною вологістю 11% та біоетанолу. Відповідно, мінімальні по досліді показники спостерігались за вирощування рослин з густотою 150 тис. шт./га за ширини міжрядь 45 та 70 см. Так, у гібрида Довіста отримано енергії 172,18–227,98 ГДж/га, а у гібрида Гулівер – відповідно 159,79–211,32 ГДж/га. Застосування навіть додаткових заходів стимуляції рослин не дало змогу отримати показники, аналогічні до вищої густоти посіву рослин.

Максимальний збір енергії було отримано в досліді за ширини міжрядь у 45 см та збільшення норми висіву до 250 тис. шт./га і застосування обробки насіння стимулятором росту Вимпел 2 (0,5 л/т) + позакореневе застосування в фазу кущення (0,5 л/га). Так, у гібрида Довіста збір енергії з 1 га був 457,35 ГДж/га, а у гібрида Гулівер – 467,82 ГДж/га.

Аналогічно за практично незмінних затрат на технологію вирощування максимальні коефіцієнти енергетичної ефективності було отримано за умови висівання сорго цукрового за ширини міжрядь у 45 см і застосування обробки насіння стимулятором росту Вимпел 2 (0,5 л/т) + позакореневе застосування у фазу кущення (0,5 л/га). Такі посіви формували максимальні значення виходу твердого біопалива. Так, за густоти рослин сорго 250 тис. шт./га у гібрида Довіста *Kee* становив 14,46, а у гібрида Гулівер – на рівні 12,34.

За основу розрахунку економічної ефективності брали технологічні карти, використовувані у виробництві сорго зернового та сорго цукрового в умовах Лісостепу України.

З огляду на те, що практики приймання сировини сорго цукрового для виробництва біопалива або переробки на сиропи немає, то вартість однієї тонни цукрового сорго ми визначали, орієнтуючись на вартість однієї тонни кукурудзи за приймання на силос у 2018 році – 485 грн.

Відповідно, показники економічної ефективності елементів технології вирощування сорго цукрового визначали за розрахунку:

- собівартості виробництва продукції як відношення витрат виробництва до виходу продукції з одиниці площі, грн/га;
- умовного чистого прибутку як різниці між реалізаційною вартістю продукції та грошово-матеріальними витратами на їх виробництво, грн/га;
- рівня рентабельності як співвідношення умовно чистого прибутку до собівартості виробництва продукції, вираженого у відсотках.



Дані економічної ефективності вирощування сорго цукрового залежно від ширини міжрядь, густоти та обробки регулятором росту наведені в таблиці 3.

Відповідно до проведених досліджень додаткові затрати на технологію вирощування сорго цукрового у разі застосування препарату Вимпел 2 були в межах 400 грн/га. Загалом для обробки насіння та подальшої обробки рослин по вегетації потрібно було 1 л/га препарату, вартість якого становила 240 грн/л.

Витрати на додатковий насінневий матеріал сорго цукрового були незначними, зважаючи на те, що вартість гібридів вітчизняної селекції становила в середньому 1400 грн за одну посівну одиницю в 350 тисяч насінин. Відповідно, вартість збільшення норми висіву сорго на 50 тис. шт./га обходилась у додаткові 200 грн/га за відсутності зростання решти витрат.

Отже, вартість найменш затратної технології виробництва продукції становила 17900 грн/га, а от максимальний рівень витрат за норми висіву 250 тис. шт./га насінин та обробки насіння стимулятором росту Вимпел 2 (0,5 л/т) + позакореневе застосування у фазу кушення (0,5 л/га) становив 18700 грн/га.

За сівби сорго цукрового гібрида Довіста за ширини міжрядь 45 см та 150 тис. шт./га в середньому отримано прибуток 8519 грн/га, що перевищує на 2418 грн/га за сівби сорго цукрового гібрида Гулівер. Загалом же ці варіанти забезпечували отримання найменшого рівня прибутку по досліді.

Дослідження густоти рослин сорго дає можливість повніше реалізувати біологічний потенціал гібридів та покращити якісні показники культури. Аналізуючи дані економічної ефективності результатів досліджень гібридів сорго цукрового Довіста і Гулівер, встановлено, що отриманий прибуток був найвищим як у гібрида Довіста, так і у гібрида Гулівер за сівби насіння з шириною міжрядь 45 см та густотою стояння рослин 250 тис. шт./га та обробки насіння стимулятором росту Вимпел 2 (0,5 л/т) + позакореневе застосування у фазу кушення (0,5 л/га) і становив відповідно 29225 та 26635 грн/га. Рівень рентабельності за цих показників був найвищий і становив 156,3% у гібрида Довіста та 142,4% – у гібрида Гулівер.

За оптимальної ширини міжрядь – 45 см та норми висіву насіння – 250 тис. шт./га і відповідно до того, що врожайність у гібрида Гулівер була нижчою, ніж у гібрида Довіста, умовно чистий прибуток у гібрида Довіста був вищим на 2590 грн/га порівняно з гібридом Гулівер.

**Висновки і пропозиції.** Визначено, що сумарний вихід енергії врожаю сорго цукрового формувався як складник отриманого твердого біопалива зі стандартною вологістю 11% та біостанолу. Максимальні показники отримано за ширини міжрядь у 45 см та збільшення норми висіву до 250 тис. шт./га і застосування обробки насіння стимулятором росту Вимпел 2 (0,5 л/т) + позакореневе застосування у фазу кушення (0,5 л/га). У гібрида Довіста збір енергії з 1 га становив 457,35 ГДж/га, а у гібрида Гулівер – 467,82 ГДж/га. Відповідно, за ширини міжрядь у 45 см та застосування обробки насіння стимулятором росту Вимпел 2 (0,5 л/т) + позакореневе застосування у фазу кушення (0,5 л/га) посіви сорго цукрового формували максимальні значення виходу твердого біопалива: за густоти рослин 250 тис. шт./га у гібрида Довіста *Kee* був 14,46, а у гібрида Гулівер – відповідно 12,34.

Встановлено, що отриманий прибуток був найвищим у обох досліджуваних гібридів Довіста і Гулівер за сівби насіння з шириною міжрядь 45 см та густотою стояння рослин 250 тис. шт./га та обробки насіння стимулятором росту Вимпел 2 (0,5 л/т) + позакореневе застосування в фазу кушення (0,5 л/га) і становив

29225 та 26635 грн/га відповідно. Рівень рентабельності за цих показників найвищий і становить 156,3% у гібрида Довіста та 142,4% у гібрида Гулівер.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Калетнік Г.М., Малік М.Й., Шпичак О.М., Олійнічук С.Т. Розвиток ринку біопалива в Україні : монографія. Київ : Аграр. наука, 2008. 464 с.
2. Климович П.В. Ефективність доз і строків застосування добрив під сорго зернове на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу України : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук : спец. 06.01.04. ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського». Харків, 2007. 23 с.
3. Курило В.Л., Григоренко Н.О., Марчук О.О. Цукрове сорго – перспективна сировина для комплексного використання. *Зб. наук. пр. Ін-ту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. Київ, 2011. Вип.12. С. 130–134.
4. Ковальчук В.П., Григоренко Н.О., Костенко О.І. Цукрове сорго – цукровмісна сировина та потенційне джерело енергії. *Цукрові буряки*. 2009. № 6. С. 67.
5. Ганженко О.М., Григоренко Н.О. Залежність продуктивності і вуглеводного складу від сортових особливостей та мінерального живлення цукрового сорго. *Цукор України*. 2011. № 4 (64). С. 27–32.
6. Сторожик Л.І. Формування продуктивності сорго цукрового в умовах Східного Лісостепу України. *Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2018. Вип. 26. С. 91–104.
7. Федорчук М.І., Коковіхін С.В., Каленська С.М., Рахметов Д.Б., Федорчук В.Г., Філіпова І.М., Пташинська О.В., Коваленко О.А., Дробітько А.В., Панфілова А.В. Науково-теоретичні засади та практичні аспекти формування еколого-безпечних технологій вирощування та переробки сорго в степовій зоні України : монографія. Херсон, 2017. 208 с.
8. Сторожик Л.І., Музика О.В. Формування структурних показників урожаю сорго цукрового залежно від елементів технології вирощування. *Новітні агро-технології*, 2017. № 5. URL: <http://jna.bio.gov.ua/article/view/143946>. DOI: 10.21498/na.5.2017.143946.
9. Ермантраут Е.Р., Присяжнюк О.І., Шевченко І.Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних у пакеті STATISTICA 6.0. Київ : ПоліграфКонсалтинг, 2007. 55 с.
10. Методика державної науково-технічної експертизи сортів рослин. *Методи визначення показників якості продукції рослинництва* / за ред. С.О. Ткачик. 4-те вид., випр. і доп. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2015. 160 с.