

ISBN 978-617-7669-94-3

**ОПТИМАЛЬНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ  
СИСТЕМИ З УРАХУВАННЯМ  
НАЯВНОГО ПОТЕНЦІАЛУ  
ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ  
ЕНЕРГІЇ У ЛІСОСТЕПУ  
УКРАЇНИ**

**Монографія**

**Полтава  
2019**

**ОПТИМАЛЬНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ  
СИСТЕМИ З УРАХУВАННЯМ  
НАЯВНОГО ПОТЕНЦІАЛУ  
ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ  
ЕНЕРГІЇ У ЛІСОСТЕПУ  
УКРАЇНИ**

**Монографія**

**Полтава  
2019**



УДК 620.92(477)(292.485)

О-60

*Рекомендовано до друку вченою радою Полтавської державної аграрної академії, Україна (протокол № 10 від 19.12.19 р.).*

**Рецензенти:**

І. В. Кузнєцова – доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, заступник академіка-секретаря Відділення рослинництва НААН.

В. М. Писаренко – доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри екології, збалансованого природокористування та захисту довкілля Полтавської державної аграрної академії МОН.

**Оптимальні енергетичні системи з урахуванням наявного потенціалу відновлюваних джерел енергії у Лісостепу України** : колективна монографія / За заг. ред. М. І. Кулика, О. В. Калініченка. Полтава: ПП “Астроя”, 2019. 128 с.

У монографії викладено особливості розробки оптимальних енергетичних систем з урахуванням наявного потенціалу відновлюваних джерел енергії у Лісостепу України. Висвітлені питання з раціонального використання природних, матеріальних ресурсів і енергії, застосовування ресурсо- і енергозбереження в Лісостепу України. Обґрунтовано шляхи збільшення врожайності та енергетичної ефективності виробництва відновлюваної рослинної сировини енергетичних культур. Запропоновано використання доступного потенціалу відновлюваних джерел енергії (сонячна, вітрова, геотермальна та енергія біомаси) на основі замкненого циклу – від виробника до споживача та розробці оптимальних енергетичних систем з урахуванням наявного потенціалу відновлювальних джерел енергії в умовах Лісостепу України. Запропоновано методичні засади економічної та енергетичної оцінки вирощування сільськогосподарських та енергетичних культур.

Матеріали монографії розраховані на науковців, здобувачів вищої освіти, викладачів вищих навчальних закладів, а також громадським діячам, спеціалістам та керівникам суб'єктів господарювання.

The monograph sets out the features of the development of optimal energy systems, taking into account the available potential of renewable energy sources in the Forest-Steppe of Ukraine. The issues on the rational use of natural, material resources and energy, the use of resource and energy conservation in the forest-steppe of Ukraine are highlighted. The ways of increasing the yield and energy efficiency of the production of renewable plant raw materials for energy crops have been substantiated. It is proposed to use the available potential of renewable energy sources (solar, wind, geothermal and biomass energy) on the basis of a closed cycle – from producer to consumer and the development of optimal energy systems, taking into account the available potential of renewable energy sources in the forest-steppe of Ukraine. Methodological foundations of economic and energy assessment of agricultural and energy crops cultivation are proposed.

The materials of the monograph are designed for scientists, applicants for higher education, teachers of higher educational institutions, as well as public figures, specialists and managers of business entities.

ISBN 978-617-7669-94-3

© ПДАА

© Колектив авторів, 2019

**ЗМІСТ**

---

---

<b>ПЕРЕДМОВА</b> .....	4
<b>РОЗДІЛ 1.</b> Аналіз агро-кліматичних та ґрунтових умов Лісостепу України для вирощування сільськогосподарських та енергетичних культур (Білявський Ю. В., Білявська Л. Г.).....	6
<b>РОЗДІЛ 2.</b> Екологічні аспекти відновлювальних джерел енергії в умовах Лісостепу України (Писаренко П. В., Галицька М. А., Корчагін О. П.).....	13
<b>РОЗДІЛ 3.</b> Урожайність та енергетична ефективність виробництва відновлюваної рослинної сировини енергетичних культур (Кулик М. І., Курило В. Л., Калініченко О. В.).....	30
<b>РОЗДІЛ 4.</b> Науково-обґрунтоване використання доступного потенціалу відновлюваних джерел енергії на основі зхамкненого циклу – від виробника до споживача (Калініченко В. М.).....	49
<b>РОЗДІЛ 5.</b> Розробка оптимальних енергетичних систем з урахуванням наявного потенціалу відновлювальних джерел енергії в умовах Лісостепу України (Горб О. О., Бойко С. І.).....	69
<b>РОЗДІЛ 6.</b> Методичні засади економічної оцінки вирощування сільськогосподарських та енергетичних культур (Калініченко О. В.).....	91
<b>РОЗДІЛ 7.</b> Роль планування енергоспоживання в забезпеченні економічного розвитку підприємств (Федірець О. В.).....	104
<b>РОЗДІЛ 8.</b> Енергоефективність машинно-тракторного парку сільського господарства України (Лесюк В. С.).....	110
<b>РОЗДІЛ 9.</b> Основні етапи розвитку електроенергетики Полтавщини (Єрмаков В. В., Помаз Ю. В., Помаз О. М.).....	120
<b>ПІСЛЯМОВА</b> .....	127

## ПЕРЕДМОВА

---

---

Розробка оптимальних енергетичних систем різної складності, з урахуванням наявного потенціалу відновлюваних джерел енергії (сонячна, вітрова, геотермальна та енергія біомаси) та енергетичного стану аграрних підприємств в умовах Лісостепу України на даний час набуває першочергового значення. Впровадження комплексних систем відновлюваної енергетики дозволить ефективно використовувати наявний потенціал альтернативної енергії та зменшить екологічне навантаження на довкілля.

Вагомого наукового значення набуває розробка прикладної системи різної складності з урахуванням наявного потенціалу відновлюваних джерел енергії, виробництва сільськогосподарських та енергетичних культур. При цьому, особливого наукового значення має комплексний підхід щодо оцінки енергетичної ефективності виробництва продукції рослинництва та енергетичних культур в аграрних підприємствах. Це дозволить здійснити порівняння та оцінити різні технології виробництва альтернативної енергії, обрати оптимальний варіант раціонального використання природних, матеріальних ресурсів і енергії та більш ширше застосовувати ресурсо- і енергозбереження в Україні.

В Україні наявний значний потенціал альтернативної та відновлювальної енергетики, але, щоб його використовувати та реалізовувати, на основі розроблених національних і регіональних програм та нормативно-правових актів, необхідно залучати інвестиції як з боку держави, так із зарубіжних інституцій. Проведення комплексних заходів для відновлення статусу енергонезалежності України і скорочення споживання природного газу дозволить підвищити потенціал та розвиток енергетики на основі збільшення відсотку використання відновлюваних джерел енергії в паливно-енергетичному секторі.

У монографії здійснено спробу визначити ефективність оптимальних енергетичних систем, з урахуванням наявного потенціалу відновлюваних джерел енергії у Лісостепу України. Цей пошук базується на раціональному використанні сонячної, вітрової, геотермальної енергій та рослинного енергоресурсу сільськогосподарських та енергетичних культур. Наведено обґрунтування економічної та енергетичної ефективності виробництва доступної біомаси польових та енергетичних культур. Запропоновано шляхи удосконалення процесу управління підприємством на основі обґрунтованого менеджменту з урахуванням необхідності ефективного використання енергетичних ресурсів. Для забезпечення енергоефективності машинно-тракторних парків аграрних підприємств рекомендовано застосовувати стратегію енергетичного менеджменту на основі оновленого складу машинно-тракторного парку та застосовування нових способів обробітку ґрунту. Всебічне

енергозбереження, реконструкція та технічне переоснащення як діючих потужностей, так і введення в експлуатацію нових електростанцій дозволить задовольнити потреб у електроенергії на державному і регіональному рівнях на основі використання відновлюваних джерел енергії.

З урахуванням запропонованих напрямів дослідження, аналізу існуючих проблем та наявних енергетичних ресурсів в Україні, розробка функціональних енергетичних систем різної складності з урахуванням наявного потенціалу відновлюваних джерел енергії (сонячна, вітрова, геотермальна та енергія біомаси) у Лісостепу дасть можливість їхнього обґрунтованого використання в промисловості, сільському господарстві із залученням соціальної сфери, що забезпечить неперервний розвиток альтернативних джерел в найближчому майбутньому.

Структура монографії складається з дев'яти розділів, у написанні яких брали участь: **Білявський Ю. В.**, **Білявська Л. Г.** (розділ 1), **Писаренко П. В.**, **Галицька М. А.**, **Корчагін О. П.** (розділ 2), **Кулик М. І.**, **Курило В. Л.**, **Калініченко О. В.** (розділ 3), **Калініченко В. М.** (розділ 4), **Горб О. О.**, **Бойко С. І.** (розділ 5), **Калініченко О. В.** (розділ 6), **Федірець О. В.** (розділ 7), **Лесюк В. С.** (розділ 8), **Єрмаков В. В.**, **Помаз Ю. В.**, **Помаз О. М.** (розділ 9).

Монографія є частиною НДДКР “Розробка оптимальних енергетичних систем з урахуванням наявного потенціалу відновлюваних джерел енергії в умовах Лісостепу України” Полтавської державної аграрної академії (номер державної реєстрації 0117U000397 від 10.02.2017 р.).

Впровадження результатів досліджень сприятиме розвитку агропромислового сектору України, посиленню міжнародної співпраці, широкого залученню інвесторів та науковців до реалізації напрацювань по проекту для зменшення енергетичної залежності України.

При підготовці монографії використані статистичні дані, аналітичні матеріали, а також наукові дослідження та розробки авторів.

Матеріали монографії розраховані на науковців, здобувачів вищої освіти, науково-педагогічних працівників закладів вищої освіти, а також буде корисною громадським діячам, спеціалістам та керівникам суб'єктів господарювання.

## Розділ 3

# УРОЖАЙНІСТЬ ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОБНИЦТВА ВІДНОВЛЮВАНОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР

---

© Кулик М. І., Курило В. Л., Калініченко О. В.

Протягом останнього десятиліття все більше уваги та зацікавленість розвинутих країн, та тих, що розвиваються, в т.ч. і України прикута до відновлюваних джерел енергії. Це пов'язано із виснаженням непоновлюваних ресурсів, екологією довкілля, економікою, сільським господарством та іншими галузями, що забезпечують комфортне існування людства.

Саме поняття “відновлювані джерела енергії” було оприлюднене та опубліковане ще у 2002 р. Міжнародним енергетичним агентством (МЕА). Згідно якого, до відновлюваних джерел енергії належать: відновлювані джерела енергії, які спалюються, та відходи біомаси, а саме: тверда біомаса і тваринні продукти (біологічна маса, у тому числі будь-які матеріали рослинного походження, що використовуються безпосередньо як паливо або перетворюються на інші форми перед спалюванням); газ або рідина з біомаси; муніципальні та промислові відходи; гідроенергія; геотермальна енергія; сонячна енергія; енергія вітру; енергія припливів, морських хвиль і океану [54].

Відновлювана енергія (ВЕ) – енергія отримана з джерел, які за людськими масштабами є невичерпними, поновлюваними та поповнюються природним шляхом. ВЕ отримують із природних ресурсів – таких як: сонячне світло (сонячна енергетика чи геліоенергетика), вітер (вітрова енергетика), річки (гідроенергетика), припливи (припливна енергетика), геотермальний ресурс (геотермальна енергетика), біоенергетика (рослинний енергоресурс, біогаз, біодизель) [55].

Не менш важливим чинником, при використанні відновлюваних джерел енергії – це дотримання захисту довкілля з урахуванням сталого економічного розвитку держави. Це регламентується міжнародним документом “Декларація про довкілля й розвиток”. Декларація про довкілля й розвиток (Декларація) – документ, прийнятий Конференцією ООН із питань довкілля й розвитку (Ріо-де-Жанейро, 1992 р.), в якій брали участь очільники з 179 країн світу. В Декларації наведено сукупність принципів, які визначають права народів на розвиток та їхні обов'язки щодо збереження Землі. В документі заявлено, що єдиний шлях

---

<sup>54</sup> Про відновлювану енергетику [Електронний ресурс] // Офіційний сайт Міжнародного енергетичного агентства. Режим доступу: <http://www.iea.org/topics/renewables>.

<sup>55</sup> Кулик М. І., Калініченко О. В. Відновлювані джерела енергії із рослинної сировини : термінологічний словник. Полтава, 2017. 60 с.

### Розділ 3. Урожайність та енергетична ефективність виробництва відновлюваної рослинної сировини енергетичних культур

забезпечення довгострокового економічного прогресу – його узгодженість з охороною довкілля. Це може бути досягнуто лише в тому разі, якщо країни світу розпочнуть нове й рівноправне співробітництво, укладуть міжнародні договори, які захистять цілісність навколишнього середовища в глобальних масштабах і системи економічного розвитку. Визначено, що люди мають право на здорове й плідне життя в гармонії з природою [56].

В Україні, для забезпечення високих показників економічної ефективності сільського господарства, поряд із продовольчою безпекою, не менш важливим напрямком є енергетичний сектор. Він потребує всебічного вивчення та впровадження у виробництво рослинного енергетичного ресурсу: як на основі обґрунтованого використання рослинних решток (відходів) польових культур, так і фітомаси енергетичних культур [57]. Адже рослини, які акумулюють сонячну енергію відносяться до поновлюваного ресурсу, та можуть бути використані як альтернативне джерело енергії для сільського господарства, промисловості та житлово-комунального господарства. В цьому плані, порівняно із однорічними рослинами, найбільш ефективними та високоврожайними є багаторічні посіви енергетичних культур (рис. 3.1).

Посіви енергокультур закладаються на маргінальних землях, що унеможлиблює їхню конкуренцію з продовольчими культурами. З-поміж них, рослини проса прутоподібного та сорго багаторічного виокремлюється за адаптивними властивостями, стійкістю до шкідливих організмів, та є високоврожайними культурами. Вони здатні щорічно продукувати значний обсяг рослинної біомаси, володіють певними пристосувальними реакціями до умов вирощування та мають різнобічне використання.

Енергетичні культури – трав'янисті рослини, чагарники, швидкоростучі дерева, або інші види рослин, біомаса яких може використовуватися як сировина для виробництва біопалива [58].

Просо прутоподібне та сорго багаторічне займають лідируючі місця, порівняно з іншими енергетичними культурами, з урахуванням комплексного використання фітомаси: для тваринництва, птахівництва, целюлозного виробництва, виготовлення біопалива та ін. [59; 60; 61]. Ці енергокультури також забезпечують значний агрономічний, економічний та енергетичний ефекти (рис. 3.2).

<sup>56</sup> Декларація про довкілля й розвиток: прийнята Конференцією ООН по навколишньому середовищу і розвитку, Ріо-де-Жанейро, 3–14 червня 1992 року. Електронний ресурс, режим доступу: [http://www.un.org/gu/documents/decl\\_conv/declarations/riodecl.shtml](http://www.un.org/gu/documents/decl_conv/declarations/riodecl.shtml).

<sup>57</sup> Kalinichenko A., Kalinichenko O., Kulyk M. Assessment of available potential of agro-biomass and energy crops phytomass for biofuel production in Ukraine: Odnawialne źródła energii: teoria i praktyka. Monograph / pod red. I. Pietkun-Greber, P. Ratusznego, Uniwersytet Opolski : Opole, Kijów, 2017. (tom II): 163–179.

<sup>58</sup> Кулик М. І. Енергетичні культури: навчальний посібник. Полтава: Астроя, 2016. 154 с.

<sup>59</sup> Rahman M. M. [et al.] 2014. Extension of energy crops on surplus agricultural lands: A potentially viable option in developing countries while fossil fuel reserves are diminishing. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. № 29: 108–119.

<sup>60</sup> Кулик М. І., Курило В. Л. Енергетичні культури для виробництва біопалива: довідник. Полтава: РВВ ПДАА, 2017. 74 с.

<sup>61</sup> Kulyk M., Galytska M., Samoylik M., Zhornyk I. (2019) Phytoremediation aspects of energy crops use in Ukraine. *Agrology*, Vol. 2 (1) : 65–73. URL: <https://doi.org/10.32819/2617-6106.2018.14020>.



**Просо прutoподібне**  
(*Panicum virgatum L.*)



**Сорго багаторічне**  
(*Sorghum alatum Parodi*)



**Міскантус гігантський**  
(*Miscanthus x giganteus*)



**Сорго цукрове**  
(*Sorghum saccharatum Pers*)

**Рис. 3.1. Енергетичні культури**

Джерело: [62].

З екологічної точки зору багаторічні посіви проса прutoподібного та сорго багаторічного здатні поліпшувати структуру ґрунту, підтримувати родючість та біорізноманіття за багаторічного циклу вирощування. Що забезпечується наявністю рослинних решток на полі, їх взаємодії з ґрунтовою біотою на фоні підвищеної вологості верхнього шару ґрунту. Після закінчення експлуатації енергоплантації проса прutoподібного та сорго багаторічного є можливість переведення малопродуктивних земель в сільськогосподарські угіддя з урахуванням збалансованої системи удобрення.

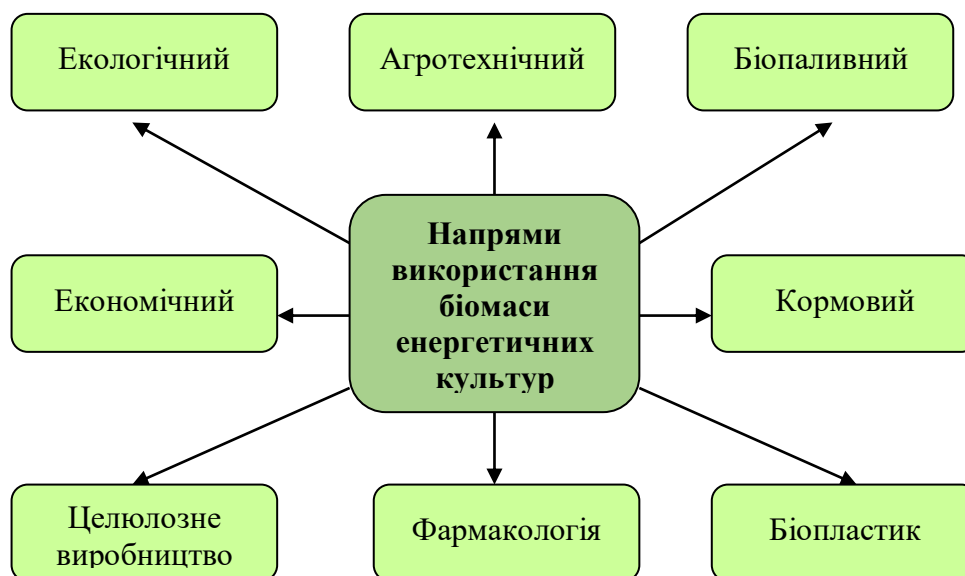
Зменшення потенційної небезпеки для здоров'я людини внаслідок зміни виду землекористування може бути вирішена шляхом відновлення функціональних та екосистемних властивостей забруднених земель на основі фітореградації із допомогою енергетичних культур – очищення ґрунтів від важких металів, поллютантів та залишків пестицидів. Нашими попередніми

---

<sup>62</sup> Кулик М. І. Енергетичні культури : альбом. Полтава: Астроя, 2017. 38 с.

### Розділ 3. Урожайність та енергетична ефективність виробництва відновлюваної рослинної сировини енергетичних культур

дослідженнями встановлено, що енергетичні культури можливо використовувати як фітореєдатори для очищення ґрунтів. При цьому необхідно застосовувати розроблену авторами модель очищення ґрунтів від політвантів [63].



**Рис. 3.2. Напрями використання проса прутноподібного та сорго багаторічного**

*Джерело: авторська розробка.*

Подрібнена фітомаса (листки і стебла) енергокультур використовуються як підстилка у птахівництві, у тваринництві як компонент силосних кормів для великої рогатої худоби, а в птахівництві використовують насіння проса прутноподібного.

Рослинна сировина проса прутноподібного сорго багаторічного – цінне джерело лігніну і целюлози для використання у картонно-паперовій промисловості.

За кордоном широко практикують виробництво капсул для ліків та можливість виробництва біопластику із побічних продуктів переробки фітомаси травнистих енергокультур (фармакологія).

Біомаса проса прутноподібного та сорго багаторічного забезпечує сировиною виробництво різних видів біопалив: твердого (гранули, брикети), рідкого (біоетанол, дизельне біопаливо) та газоподібного (біогаз), та генерування з них тепла, електроенергії та механічної енергії.

У формуванні врожайності проса прутноподібного, поряд з погодними умовами вирощування та сортовими особливостями, вагомий вклад належить структурі врожаю. Що включає в себе елементи продуктивності: густина рослин на одиницю площі, кількість і висота стебел, кількість і вага насіння у волоті, маса 1000 насінин та ін. [64]. Саме тому для отримання високої врожайності

<sup>63</sup> Kulyk M., Galytska M., Samoylik M., & Zhornyk I. (2019). Phytoremediation aspects of energy crops use in Ukraine. *Agrology*, 2 (1) : 65–73. <https://doi.org/10.32819/2617-6106.2018.14020>.

<sup>64</sup> Kulyk Maksym and Shokalo Natalia. Impact of plant biometric characteristics on seed productivity of castor-oil plant and switchgrass depending upon weather conditions of the vegetation period in the forest-steppe of Ukraine : Relevant

### Розділ 3. Урожайність та енергетична ефективність виробництва відновлюваної рослинної сировини енергетичних культур

біомаси або насіння необхідно забезпечити найбільш оптимальне співвідношення всіх елементів структури врожаю енергетичних культур, в т.ч. і проса прутіподібного. Не менш важливим чинником збільшення продуктивності культури за біомасою та насінням є агротехнічні заходи вирощування: обробіток ґрунту, строки і способи сівби та догляд за рослинами під час вегетації [65; 66; 67].

Наукові праці по сорго багаторічному свідчать про недостатню кількість досліджень в плані вивчення культури за рівнем врожайності та енергетичною ефективністю культури в біопаливному напрямку. Поряд з цим, дослідженню проблематики обраного питання присвячена значна кількість зарубіжних наукових праць. Значний внесок у вирішення проблеми використання біологічно поновлюваних рослинних ресурсів, у тому числі енергетичних культур, їх інтродукції, селекції та удосконалення елементів технології вирощування зробили і українські вчені В. Л. Курило, М. В. Роїк, Д. Б. Рахметов, М. Я. Гументик, В. А. Доронін, В. В. Думич, С. Д. Орлов, Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железна, Г. М. Калетнік, С. М. Мандровська та ін. Але результатів досліджень стосовно особливостей та закономірностей отримання в умовах Лісостепу України потужної та енергоємної біомаси енергетичних культур відомостей недостатньою.

У зв'язку з вищевказаною проблематикою було проведено комплексні дослідження з визначення шляхів збільшення потенціалу продуктивності біомаси енергетичних культур: проса прутіподібного (*Panicum virgatum* L.) і сорго багаторічне (*Sorghum almum* Parodi). Ці культури відносять до родини тонконогових (*Poaceae*), багаторічні, здатні розмножуватись генеративним способом, мають відносну стійкість до посухи, характеризуються інтенсивним ростом і розвитком, формують потужну фітомасу – рослинну сировину для виробництва біопалив, що і обумовлює їхню енергопродуктивність [68; 69].

Просо прутіподібне, або світчґрас – культура, що формує потужну фітомасу та є придатною сировиною для виробництва біопалива. З біологічної точки зору світчґрас – прямостояча теплолюбна і досить стійка до посухи та високих температур культура із глибокою (до 2,5 м) мичкуватою кореневою системою. Щільність кореневої системи цього виду проса у верхньому 15-ти

---

issues of development and modernization of the modern science: the experience of countries of Eastern Europe and prospects of Ukraine: monograph; edited by authors. Riga, Latvia: "Baltija Publishing", 2018: 182–204. DOI: [http://dx.doi.org/10.30525/978-9934-571-26-8\\_10](http://dx.doi.org/10.30525/978-9934-571-26-8_10).

<sup>65</sup> Кулик М. І. Аналіз комплексного впливу агрозаходів на урожайність проса прутіподібного в умовах центрального Лісостепу України. Вісник Полтавської державної аграрної академії. Вип. 3 (90), 2018. С. 74–86.

<sup>66</sup> Kulik M. Impact of seeding terms and row spacing on yield of switchgrass phytomass, biofuel and energy output. Annals of Agrarian Science, 2016. Vol. 14, Issue 4: 331–334. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S151218871630104X>.

<sup>67</sup> Kulyk Maksym, Rozhko Ilona, Kurylo Vasyl, at all. Impact of the soil and climate conditions on the formation of the crop yield and germinating power of the switchgrass (*Panicum virgatum* L.) seeds. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. 2018, Vol. 63(4): 101–105. URL: [http://www.pimr.poznan.pl/biul/2018\\_4\\_KRK.pdf](http://www.pimr.poznan.pl/biul/2018_4_KRK.pdf).

<sup>68</sup> Кулик М. И. Адаптивный потенциал проса прутьевидного в условиях Украины. Вестник Курганской ГСХА, 2015. № 1 (13). С. 28–30.

<sup>69</sup> Кулик М. І. Енергетичний потенціал та економічна ефективність виробництва фітомаси світчґрасу для біопалива. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2016. № 4. Електронний ресурс, режим доступу – URL: <http://journals.urau.ua/index.php/2223-1609/article/view/113210>.

### Розділ 3. Урожайність та енергетична ефективність виробництва відновлюваної рослинної сировини енергетичних культур

сантиметровому шарі ґрунту вдвічі більша, ніж у люцерни, та втричі – ніж у кукурудзи. Рослина проса прутоподібного добре облиствлена, у висоту сягає до 2,5–3,0 м, формує значну кількість пагонів, має стебло соломину, яка закінчується суцвіттям волоть, в якій дозріває дрібне насіння. Маса 1000 насінин – від 0,6 до 2,0 г [70] (рис. 3.3).



**Рис. 3.3. Просо прутоподібне**

(а – загальний вигляд рослини, б – суцвіття, в – насіння, г – фаза куціння)

*Джерело: фото авторів.*

Під час вегетації у рослин проса прутоподібного виокремлюють наступні фенологічні фази: сходи (відновлення вегетації), куціння, вихід в трубку, формування волоті, цвітіння, формування і досягання насіння, закінчення вегетації. При цьому весь цей цикл повторюється щорічно, протягом 15–20 років, до повного зрідження травостою. Тобто просо прутоподібне ми можемо віднести до типових багаторічних злакових трав.

Урожайність біомаси проса прутоподібного може змінюватись у межах – від 6 до 25 т/га сухої речовини за багаторічного використання енергоплантації. Енергопродуктивність рослин проса прутоподібного 40–60 (до 80) Гкал/га [70].

Сорго багаторічне формує високорослі рослини, основне стебло і всі бічні пагони вгорі закінчуються волоттю. Листки довголанцетні, 60–80 см завдовжки,

<sup>70</sup> Курило В. Л., Рахметов Д. Б., Кулик М. І. Біологічні особливості та потенціал урожайності енергетичних культур родини тонконогових в умовах України. Вісник Полтавської державної аграрної академії. Вип. 1 (88), 2018. С. 11–17.

### Розділ 3. Урожайність та енергетична ефективність виробництва відновлюваної рослинної сировини енергетичних культур

3–5 см завширшки. Кількість їх на рослині коливається від 18 до 26 шт. Листки основою обіймають стебло наполовину. Коренева система добре розвинена й під час посухи здатна розвивати вторинне коріння. Суцвіття – волоть, завдовжки 40–45 см. Насіння у сорго видовжене, коричнево-чорного кольору. Маса 1000 зернин – 8,5–9,0 г [71] (рис. 3.4).



**Рис. 3.4. Сорго багаторічне**

(а – загальний вигляд рослини, б – насіння, в – фаза куцїння)

*Джерело: фото авторів.*

На початку формування волоті врожайність зеленої надземної маси сорго багаторічного становить 30–35 т/га, в період цвітіння досягає 45–50 т/га, а в період дозрівання насіння – до 65–75 т/га. Урожайність насіння сорго багаторічного – на рівні 1,5–1,7 т/га. Вихід сухої біомаси варіює в межах – від 11 до 14 т/га. Енергетична цінність сорго багаторічного становить 3750–3810 ккал/кг [70].

Продуктивність сорго багаторічного значною мірою залежить від агротехнічних заходів вирощування. За норми висіву насіння 2 млн шт./га і ширині міжрядь 15 см урожай зеленої маси цієї культури (під час першого укусу) становить 45 т/га, тоді як за широкорядного способу сівби на 45 см – до 40 т/га. Водночас рослини сорго за вирощування на більшій площі живлення мають товстіші кореневища діаметром 5–9 мм і довжиною 10–25 см, основна маса яких міститься на глибині до 35 см. У таких кореневищах накопичується достатньо пластичних речовин, які обумовлюють добру перезимівлю рослин та дружне відростання рослин навесні при настанні сприятливого температурного режиму [72].

<sup>71</sup> Курило В. Л., Рахметов Д. Б., Кулик М. І. Біологічні особливості та потенціал урожайності енергетичних культур родини тонконогових в умовах України. Вісник Полтавської державної аграрної академії. Вип. 1 (88), 2018. С. 11–17.

<sup>72</sup> Макаров Л. Х. Соргові культури: Монографія. Херсон: Айлант, 2006. 264 с.

### Розділ 3. Урожайність та енергетична ефективність виробництва відновлюваної рослинної сировини енергетичних культур

Дослідження з вивчення якості насіннєвого матеріалу сорго багаторічного показали, що схожість і життєздатність його змінюється залежно від часу збирання. Так, насіння, зібране в фазу молочної стиглості має лабораторну схожість на рівні 32,4–60,0 %. Насіння, зібране у фазу повної стиглості значно підвищує свої посівні якості, та є придатним для сівби. Сила початкового росту, яка показує здатність паростків пробиватися на поверхню ґрунту, у насіння, зібраного в фазу воскової стиглості, знаходиться в межах 62,0–90,0 %. Високі посівні якості насіння зберігає, зібране в повній стиглості. У процесі зберігання у щойно зібраного насіння сорго проходить період післязбирального дозрівання. Якщо у більшості сортів схожість такого насіння спочатку буде низька, то вже через 30 днів вона різко підвищується [73]. Поряд з цим, науковці визначили, що врожайність надземної вегетативної маси рослин сорго багаторічного – біомаси значною мірою залежить і від технології вирощування культури. Оптимізація певного комплексу агрозаходів вирощування сорго не тільки збільшує його врожайність, алей підвищує енергоємність продукції та забезпечує більший вихід енергії [74; 75].

Отже, просо прутоподібне та сорго багаторічне вирощують задля отримання кінцевого продукту – біомаси, що після відповідної обробки здатна забезпечувати певний рівень енергії.

Раціональне використання енергії – використання енергії споживачами найбільш ефективним шляхом з економічної точки зору з урахуванням соціальних, політичних, фінансових обмежень, вимог до охорони навколишнього середовища, тощо [76].

При вирощуванні енергокультур необхідно зменшувати енергозатрати, застосовуючи елементи енергозберігаючої технології вирощування, при цьому енергетична ефективність виробництва біомаси буде зростати. Що відобразиться у збільшення виходу енергії з 1 га, та підвищенні коефіцієнту енергетичної ефективності.

Енергозберігаюча технологія – метод виробництва продукції з раціональним використанням енергії, який дає можливість одночасно зменшувати енергетичне навантаження на оточуюче природне середовище і кількість енергетичних відходів, отриманих при виробництві та експлуатації виробленого продукту [77].

<sup>73</sup> Хіврич О. Б., Курило В. Л., Ганженко О. М., та ін. Технології та технічні засоби для вирощування цукрових буряків і біоенергетичних культур: монографія / За ред. М. В. Роїка. Вінниця: “Ніланд-ЛТД”, 2017. 352 с.

<sup>74</sup> Волков С. Н., Сивак Е. Е. Эффективность интродукции Колумбовой травы в сельскохозяйственное производство регионов центрального Черноземья. Вестник Курганской сельскохозяйственной академии. Вып. 5, 2009. С. 56–61.

<sup>75</sup> Роїк М. В., Курило В. Л., Гументик М. Я. Енергетичні культури для виробництва біопалива. Наукові праці Полтавської державної аграрної академії. 2010. Т. 7 (26). С. 12–15.

<sup>76</sup> Калініченко О. В. Сутність категорій “енергія” та “енергетична ефективність” в рослинництві. Розробка та вдосконалення енергетичних систем з урахуванням наявного потенціалу альтернативних джерел енергії: колективна монографія. Полтава, 2017. С. 119–128.

<sup>77</sup> Калініченко О. В. Основні засади впровадження енергозберігаючих технологій в рослинництві. Економічний, організаційний та правовий механізм підтримки і розвитку підприємництва. Полтава, 2019. С. 303–308.

### Розділ 3. Урожайність та енергетична ефективність виробництва відновлюваної рослинної сировини енергетичних культур

Важливим фактором сучасної технології вирощування сільсько-господарських культур, в т. ч. і проса прутоподібного та сорго багаторічного є використання якісного посівного матеріалу за різних способів допосівної підготовки його та визначених строків сівби. Окрім цього наданням рослинами оптимальної площі живлення та збалансована система удобрення дозволить суттєво збільшити врожайність даних енергокультур. Що, в свою чергу забезпечить умови близькі до оптимальних для росту і розвитку рослин та формування потужної фітомаси цих культур. Отримана з поля біомаса проса прутоподібного та сорго багаторічного, після відповідної доробки є якісною сировиною для виробництва біопалив, з послідуючою її трансформацією в різні види енергії.

Огляд літературних джерел свідчить про те, що просо прутоподібне та сорго багаторічне адаптовані як до умов Європейських країн, так і для умов України. В умовах нашої країни ці енергокультури вирощують з урахуванням певних агрозаходів, застосовуючи для закладки енергоплантацій заздалегідь підготовлені ділянки. Поряд з цим, для отримання стабільної та високої врожайності біомаси проса прутоподібного та сорго багаторічного необхідно більш глибоко вивчити агротехнічні заходи вирощування даних культур.

Отже, на даний час, в нашій країні, найбільш вивченим залишається біопаливний напрям використання проса прутоподібного та сорго багаторічного, який потребує подальших досліджень з вивчення шляхів збільшення врожайності біомаси з урахуванням енергетичної ефективності виробництва продукції. Визначення основних показників енергетичної ефективності (вихід енергії та коефіцієнт енергетичної ефективності) виробництва біомаси проса прутоподібного та сорго багаторічного залежно від технології вирощування дозволить знайти шляхи її оптимізації. Що, в свою чергу, знизить енергозатрати на вирощування енергокультур та підвищити енергетичну ефективність виробництва одиниці продукції біомаси.

Вивчення рослин проса прутоподібного та сорго багаторічного у польових умовах проводились за схемою двофакторних багаторічних експериментів. Досліди закладено в умовах центральної частини Лісостепу України протягом 2015–2019 рр.

Облікова площа кожної ділянки становила 50,0 м<sup>2</sup>, повторність – чотириразова, що відповідає вимогам проведення дослідів із польовими культурами. Розміщення ділянок у досліді було за рендомізованого чергування варіантів у повтореннях. Польові досліді закладались, проводились та виконувались з урахуванням усіх вимог методики агрономічної дослідної справи за Б. А. Доспеховим та В. Ф. Мойсейченка і В. О. Єщенка [78; 79], з урахуванням методичних рекомендацій [80].

Дослід передбачав визначення врожайності та енергетичної ефективності виробництва біомаси проса прутоподібного та сорго багаторічного залежно від технології вирощування.

<sup>78</sup> Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М. : Колос, 1985. 336 с.

<sup>79</sup> Мойсейченко В. Ф., Єщенко В. О. Основи наукових досліджень в агрономії. Київ: Вища школа, 1994. 334 с.

<sup>80</sup> Методичні рекомендації з проведення основного та передпосівного обробітків ґрунту і сівби проса лозовидного / В. Л. Курило, М. Я. Гументик, Г. С. Гончарук, та ін. К. : ІБКЦБ, 2012. 28 с.

### Розділ 3. Урожайність та енергетична ефективність виробництва відновлюваної рослинної сировини енергетичних культур

Перелік досліджуваних чинників: фактор А – роки дослідження (2015–2019 рр.); фактор Б – технології вирощування: варіант 1 – звичайна технологія вирощування, варіант 2 – оптимізована технологія вирощування (рис. 3.5).



**Рис. 3.5. Блок-схема чинників, що були поставлені на вивчення**

*Примітка:* ЕЕ – енергетична ефективність.

*Джерело:* авторська розробка.

Дослід передбачав:

– визачення впливу оптимізованої технології вирощування багаторічних енергокультур на рівень врожайності проса прутіподібного та сорго багаторічного за сухою біомасою;

– проведення енергетичної оцінки різних технологій вирощування (звичайної та оптимізованої) для проса прутіподібного та сорго багаторічного.

У дослідях виконували наступні планові та поточні спостереження, обліки та аналізування:

– планування, закладка та проведення експериментів за методикою наукових досліджень в агрономії [81; 82; 83];

– облік урожайності біомаси проса прутіподібного та сорго багаторічного проводили шляхом поділянкового зважування снопових зразків надземної вегетативної маси з наступним перерахунком її на суху масу відповідно до показників вологості сировини [84];

– вміст сухої речовини рослинної сировини визначали шляхом висушування зразка до абсолютно сухої маси в сушильній шафі СЕШ-3М при температурі 100–105 °С упродовж 4–6 годин, з послідуочим охолодженням, зважуванням проб і відповідним перерахунком;

<sup>81</sup> Основи наукових досліджень в агрономії / В. О. Єщенко, П. Г. Копитко, В. П. Опришко та ін. К. : Дія, 2005. 288 с.

<sup>82</sup> Кулик М. І., Рахметов Д. Б., Курило В. Л. Методика проведення польових та лабораторних досліджень з просом прутіподібним (*Panicum virgatum L.*). Полтава: РВВ ПДАА, 2017. 24 с.

<sup>83</sup> Писаренко П., Кулик М., Wolter Elbersen, Крайсвітній П., Рій О. Методичні рекомендації по технології вирощування енергетичних культур в умовах України відповідно до стандарту NTA8080, Полтава, 2012. 40 с.

<sup>84</sup> Kulyk M., W. Elbersen Methods of calculation productivity phytomass for switchgrass in Ukraine. Poltava, 2012. 10 p.

### Розділ 3. Урожайність та енергетична ефективність виробництва відновлюваної рослинної сировини енергетичних культур

– енергетичну ефективність виробництва біомаси проса прутоподібного оцінювали за методичними вказівками О. К. Медведовського і П. І. Іваненка [85] з урахуванням методик інших вчених [86; 87; 88];

– статистичну обробку результатів досліджень виконували за допомогою дисперсійного, кореляційного та регресійного методів [89] з використанням ліцензійної прикладної комп'ютерної програми Statistica-6.0.

Отже, польові дослідження із рослинами проса прутоподібного та сорго багаторічного проводилися згідно з вимогами методики дослідної справи та затверджених науково-практичних рекомендацій; спостереження, обліки та аналізування проведені відповідно до прийнятих методик, методичних рекомендацій та ДСТУ.

Урожайність та енергетична ефективність виробництва біомаси проса прутоподібного залежно від оптимізованої технології вирощування культури.

Оптимізована технологія вирощування проса прутоподібного на маргінальних землях поєднувала: використання напівпарової системи основного обробітку ґрунту, дві весняні культивації, проведення коткування до- і після сівби культури; сівбу у весняні строки у другій декаді квітня нормою висіву 300 схожих насінин на 1 м<sup>2</sup> або 3 млн шт. на 1 га (5,7 кг/га); широкорядний спосіб сівби (45 см) сумісно з бобовим компонентом, застосування весняного азотного підживлення рослин у дозі 15–30 кг/га д. р. Цей комплекс агрозаходів, порівняно із звичайною технологією вирощування проса прутоподібного мав суттєвий вплив на рівень врожайності біомаси проса прутоподібного (табл. 3.1).

*Таблиця 3.1*

**Урожайність біомаси проса прутоподібного  
залежно від технології вирощування, 2015–2019 рр., т/га**

Технологія вирощування (фактор А)	Роки (фактор Б)			Середнє за роки
	третій	четвертий	п'ятий	
Звичайна	13,9	14,9	15,7	14,8
Оптимізована	15,4	16,6	17,1	16,4
НІР <sub>05</sub> (фактор А)	0,9	1,1	0,8	1,1
НІР <sub>05</sub> (фактор Б)	-	-	-	0,3
НІР <sub>05</sub> (фактор АБ)	-	-	-	0,2

*Джерело: розрахунки авторів.*

<sup>85</sup> Медведовський О. К., Іваненко П. І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій к сільському господарстві. К. : Урожай. 1998. 205 с.

<sup>86</sup> Галицька М. А., Кулик М. І., Калініченко О. В. Методологія енергоконверсії біопалива. Полтава, 2018. 40 с.

<sup>87</sup> Морозов Р. В., Федорчук Є. М. Оцінка біоенергетичного потенціалу рослинних відходів та енергетичних культур у сільському господарстві. Науковий вісник Херсонського державного університету, 2015. Випуск 10. Частина 3. С. 111–117.

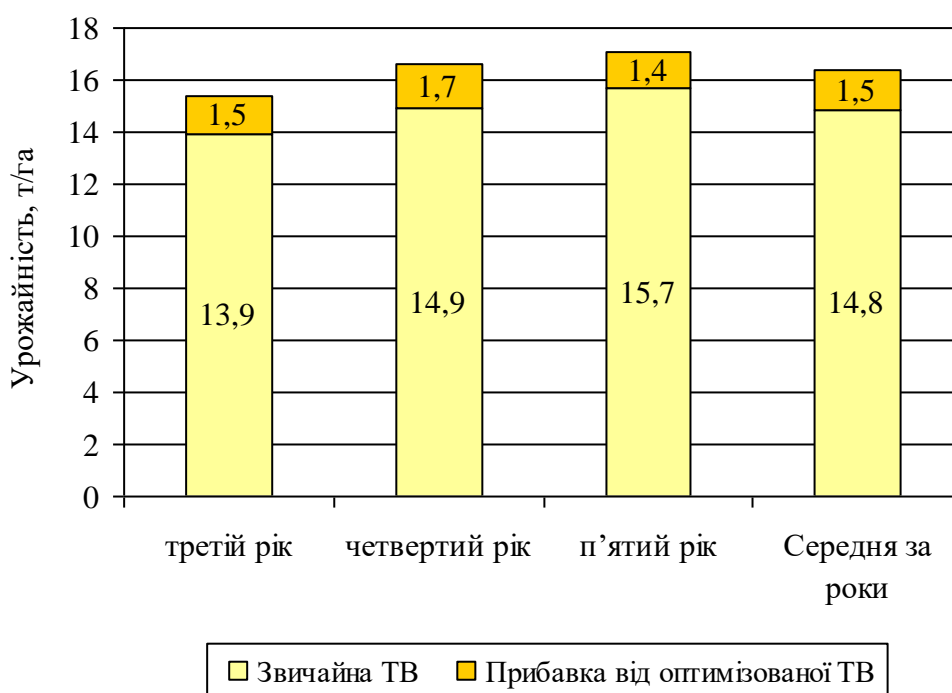
<sup>88</sup> Калініченко О. В. Методика оцінки енергетичної ефективності виробництва продукції рослинництва. Енергоефективність та енергозбереження: економічний, техніко-технологічний та екологічний аспекти : колективна монографія / Кол. авторів; за заг. ред. П. М. Макаренка, О. В. Калініченка, В. І. Аранчій. Полтава : ПП "Астра", 2019. С. 177–180.

<sup>89</sup> Боровиков В. П. Statistica. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов. СПб. : Питер, 2003. 688 с.

### Розділ 3. Урожайність та енергетична ефективність виробництва відновлюваної рослинної сировини енергетичних культур

Урожайність біомаси проса прутоподібного, у середньому а роки дослідження, при звичайній технології вирощування змінювалась у межах – від 13,9 до 15,7 т/га, що у середньому за три роки становило 14,8 т/га, при оптимізованій технології цей показник варіював у межах – від 15,4 т/га до 17,1 т/га, у середньому за роки урожайність була на рівні 16,4 т/га. Виходячи з чого, можна зробити опередні висновки, що оптимізація технології вирощування проса прутоподібного дозволила суттєво збільшити врожайність на 1,6 т/га за НР<sub>05</sub> 1,1 т/га.

Застосування комплексу агрозаходів за оптимізованої технології вирощування проса прутоподібного в умовах Лісостепу України у середньому за три роки дозволяє збільшити урожайність біомаси до 16,4 т/га, що на 1,6 т/га вище порівняно із звичайною технологією (рис. 3.6).



Примітка: НР<sub>05</sub> 0,3 т/га.

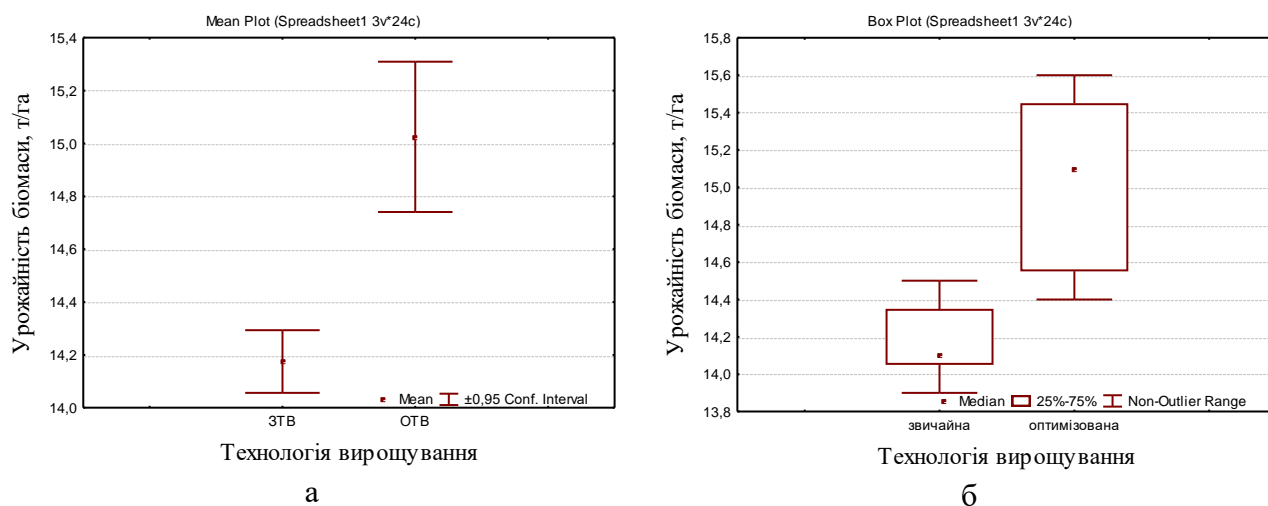
**Рис. 3.6. Рівень врожайності та прибавка врожаю біомаси проса прутоподібного залежно від технології вирощування, 2015–2019 рр.**

Джерело: розрахунки авторів.

Урожайність біомаси проса прутоподібного за оптимізованої технології вирощування, порівняно із звичайною, доказово вищою була в усі роки дослідження. Так, прибавка врожаю за оптимізованої технології вирощування проса прутоподібного на третій рік становила 1,5 т/га, на четвертий – 1,7 т/га, а на п'ятий рік – 1,4 т/га, що в середньому за роки становило 1,5 т/га.

Залежності між технологіями вирощування проса прутоподібного (звичайна та оптимізована) у середньому за роки дослідження показують суттєві відмінності на 5 % рівні значущості, між роками дослідження, застосовуваними технологіями та врожайністю сухої біомаси культури (рис. 3.7).

### Розділ 3. Урожайність та енергетична ефективність виробництва відновлюваної рослинної сировини енергетичних культур



**Рис. 3.7. Залежність між технологіями вирощування проса прутоподібного (а), в межах років дослідження (б) та врожайністю біомаси, 2015–2019 рр.**

*Джерело: розрахунки авторів.*

Варіювання врожайності біомаси проса прутоподібного залежно від звичайної технології вирощування знаходилось у межах – від 13,9 до 15,7 т/га, а при оптимізованій було істотно більшим – від 15,4 до 17,1 т/га. Різні технології мали суттєвий вплив на рівень врожайності біомаси при  $p < 0,05$ .

Застосування запропонованого комплексу агрозаходів при оптимізованій технології вирощування проса прутоподібного, порівняно із звичайною технологією, в умовах Лісостепу України дозволяє збільшити показники енергетичної ефективності виробництва біомаси (табл. 3.2).

*Таблиця 3.2*

**Енергетична ефективність вирощування проса прутоподібного залежно від технології вирощування, 2015–2019 рр.**

Технологія вирощування	Рік вегетації	Урожайність, т/га	Показники енергетичної ефективності				
			$V_{тб}$	$BE_{тб}$	$E_c$	$EM$	$K_{ee}$
Звичайна	третій	13,9	15,3	244,6	55,7	3,6	4,4
	четвертий	14,9	16,4	262,2	57,4	3,5	4,6
	п'ятий	15,7	17,3	276,3	65,4	3,8	4,2
Оптимізована	третій	15,4	16,9	271,0	82,4	4,9	3,3
	четвертий	16,6	18,3	292,2	52,4	2,9	5,6
	п'ятий	17,1	18,8	301,0	50,5	2,7	6,0

*Примітка:*  $V_{тб}$  – вихід твердого біопалива, т/га;  $BE_{тб}$  – вихід енергії, ГДж/га;  $E_c$  – сукупні витрати енергетичних ресурсів на 1 га посівів, ГДж/га;  $EM$  – енергомісткість технології виробництва, ГДж/т;  $K_{ee}$  – коефіцієнт енергетичної ефективності.

*Джерело: розрахунки авторів.*

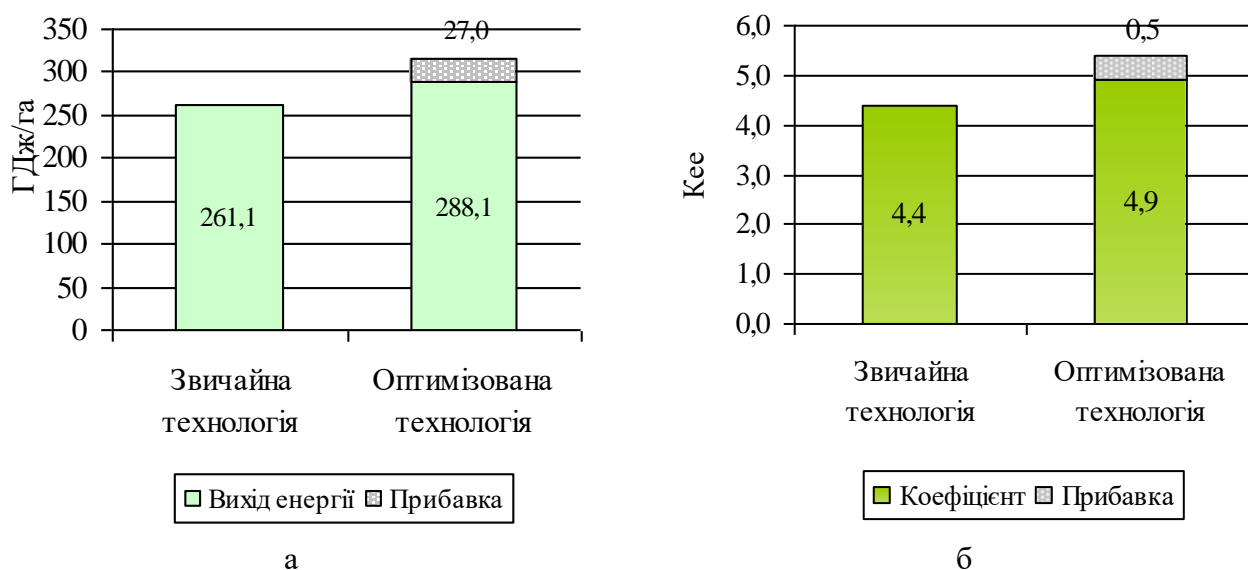
Застосування оптимізованої технології вирощування проса прутоподібного, порівняно із звичайною, дозволило: збільшити вихід твердого біопалива на 1,7 т/га, підвищити вихід енергії – на 27,0 ГДж/га, збільшити коефіцієнт

### Розділ 3. Урожайність та енергетична ефективність виробництва відновлюваної рослинної сировини енергетичних культур

енергетичної ефективності на 0,5 одиниць (від 4,6 до 4,9). При цьому, за три роки відмічено збільшення сукупних витрат енергетичних ресурсів на 1 га посівів на 2,3 ГДж/га (з 59,5 до 61,8 ГДж/га) та всього лише на 0,1 ГДж/т енергомісткості технології виробництва культури. Ця залежність спостерігалась як в динаміці років, так і в середньому за період проведення досліджень.

Встановлено, що із зменшенням витрат енергії на технологічні операції за багаторічного циклу вирощування проса прутоподібного збільшується енергетичний коефіцієнт – відношення кількості енергії, накопиченої в урожаї, до кількості енергії, витраченої на її отримання.

Основні показники енергетичної ефективності (вихід енергії та коефіцієнт енергетичної ефективності) виробництва біомаси проса прутоподібного за звичайної та оптимізованої технології вирощування наведено на рис. 3.8.



**Рис. 3.8. Показники енергетичної ефективності (а – вихід енергії, б – коефіцієнт енергетичної ефективності) виробництва біомаси проса прутоподібного за звичайної та оптимізованої технології вирощування, середнє за 2015–2019 рр.**

*Джерело: розрахунки авторів.*

Отже, застосування оптимізованої технології вирощування проса прутоподібного, порівняно із звичайною, у середньому роки досліджень дало можливість збільшити вихід енергії на 27,0 ГДж/га (від 261,1 до 288,1 ГДж/га), та підвищити коефіцієнт енергетичної ефективності – від 4,4 до 4,9, тобто – на 0,5 одиниць.

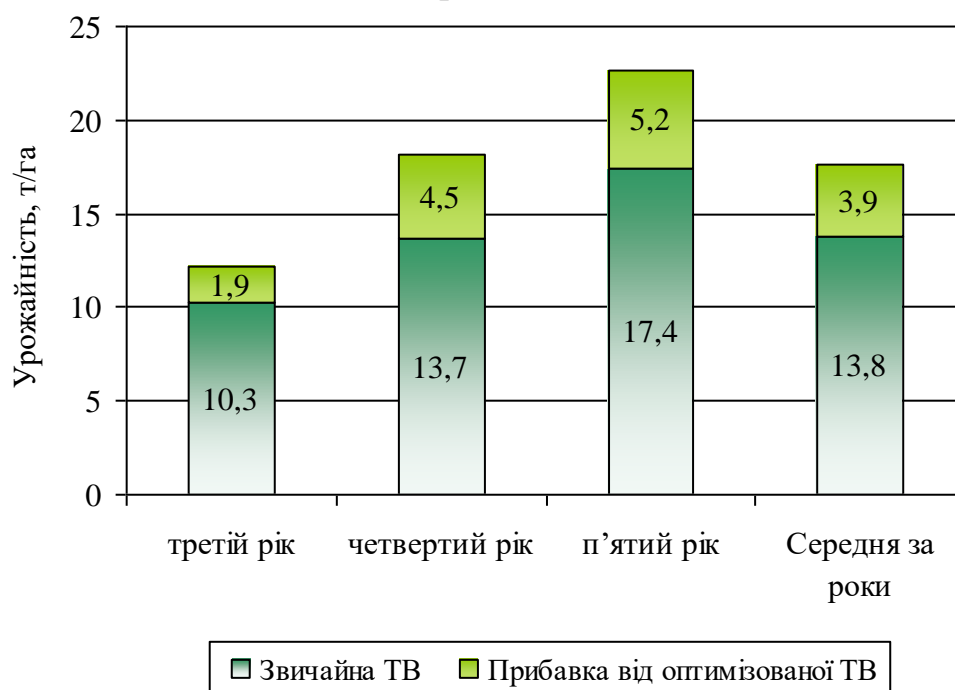
Оптимізована технологія вирощування сорго багаторічного на маргінальних землях поєднувала: використання напівпарової системи основного обробки ґрунту, дві весняні культивації, проведення коткування до- і після сівби культури; застосування допосівної підготовки насіння (калібрування та обробка мікроелементами); сівбу у весняні строки у другій декаді квітня нормою висіву 22,0 кг/га; широкорядний спосіб сівби (45 см) сумісно з бобовим компонентом, застосування весняного азотного підживлення рослин у дозі 30 кг/га д. р. Цей комплекс агрозаходів, порівняно із звичайною технологією вирощування сорго, мав суттєвий вплив на рівень врожайності біомаси культури (табл. 3.3).

**Урожайність біомаси сорго багаторічного  
залежно від технології вирощування, 2015–2019 рр., т/га**

Технологія вирощування (фактор А)	Рік вегетації (фактор Б)			Середнє за роки
	третій	четвертий	п'ятий	
Звичайна	10,3	13,7	17,4	13,8
Оптимізована	12,2	18,2	22,6	17,7
НІР <sub>05</sub> (фактор А)	1,8	2,5	3,4	1,7
НІР <sub>05</sub> (фактор Б)	-	-	-	1,7
НІР <sub>05</sub> (фактор АБ)	-	-	-	1,5

*Джерело: розрахунки авторів.*

Застосування комплексу агрозаходів за оптимізованої технології вирощування сорго в умовах Лісостепу України у середньому за три роки дозволяє збільшити урожайність біомаси до 17,7 т/га, що на 3,9 т/га вище порівняно із звичайною технологією (рис. 3.9).



*Примітка: НІР<sub>05</sub> 1,5 т/га.*

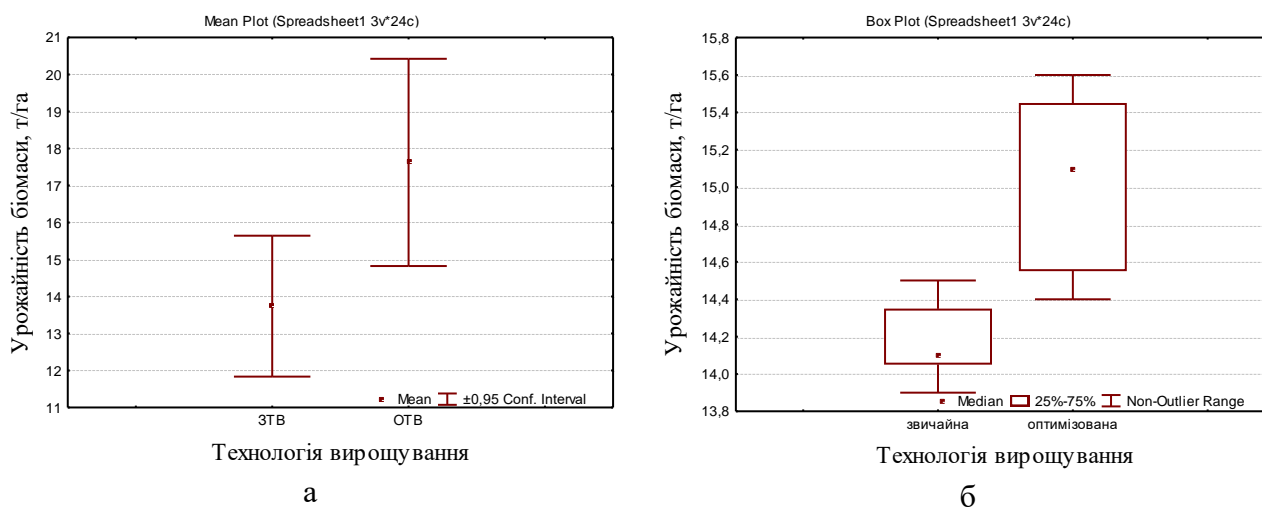
**Рис. 3.9. Рівень врожайності та прибавка врожаю біомаси сорго багаторічного залежно від технології вирощування, 2015–2019 рр.**

*Джерело: розрахунки авторів.*

Урожайність біомаси сорго багаторічного за оптимізованої технології вирощування, порівняно із звичайною, доказово вищою була в усі роки дослідження. Встановлено, що прибавка врожаю за оптимізованої технології вирощування сорго багаторічного, порівняно із звичайною, у третьому вегетаційному році становила 1,9 т/га, у четвертому – 4,5 т/га, а у п'ятому році – 5,2 т/га, у середньому за три роки – 3,9 т/га.

### Розділ 3. Урожайність та енергетична ефективність виробництва відновлюваної рослинної сировини енергетичних культур

Залежності між технологіями вирощування сорго багаторічного (звичайна та оптимізована) у середньому за 2015–2019 рр. показує суттєві відмінності між ними на 5 % рівні значущості (рис. 3.10).



**Рис. 3.10.** Залежність між технологіями вирощування сорго багаторічного (а), в межах років дослідження (б) та врожайністю біомаси, 2015–2019 рр.

*Джерело: розрахунки авторів.*

Застосування запропонованого комплексу агрозаходів при оптимізованій технології вирощування сорго багаторічного, порівняно із звичайною технологією вирощування культури дозволяє значно збільшити показники енергетичної ефективності виробництва біомаси (табл. 3.4).

*Таблиця 3.4*

**Енергетична ефективність вирощування сорго багаторічного залежно від технології вирощування, 2015–2019 рр.**

Технологія вирощування	Рік вегетації	Урожайність, т/га	Показники енергетичної ефективності				
			$V_{т6}$	$BE_{т6}$	$E_c$	$EM$	$K_{ee}$
Звичайна	третій	10,3	11,3	186,9	56,9	5,0	3,3
	четвертий	13,7	15,1	248,7	60,7	4,0	4,1
	п'ятий	17,4	19,1	315,8	66,3	3,5	4,8
Оптимізована	третій	12,2	13,4	221,4	65,5	4,9	3,4
	четвертий	18,2	20,0	330,3	66,8	3,3	4,9
	п'ятий	22,6	24,9	410,2	67,9	2,7	6,0

*Примітка:*  $V_{т6}$  – вихід твердого біопалива, т/га;  $BE_{т6}$  – вихід енергії, ГДж/га;  $E_c$  – сукупні витрати енергетичних ресурсів на 1 га посівів, ГДж/га;  $EM$  – енергомісткість технології виробництва, ГДж/т;  $K_{ee}$  – коефіцієнт енергетичної ефективності.

*Джерело: розрахунки авторів.*

Встановлено, що порівняно із звичайною технологією вирощування сорго багаторічного, застосування оптимізованої дозволило: збільшити вихід твердого біопалива на 4,2 т/га, підвищити вихід енергії – на 70,2 ГДж/га (від 250,5 до 320,7 ГДж/га), зменшити енергомісткість технології виробництва – від 4,2

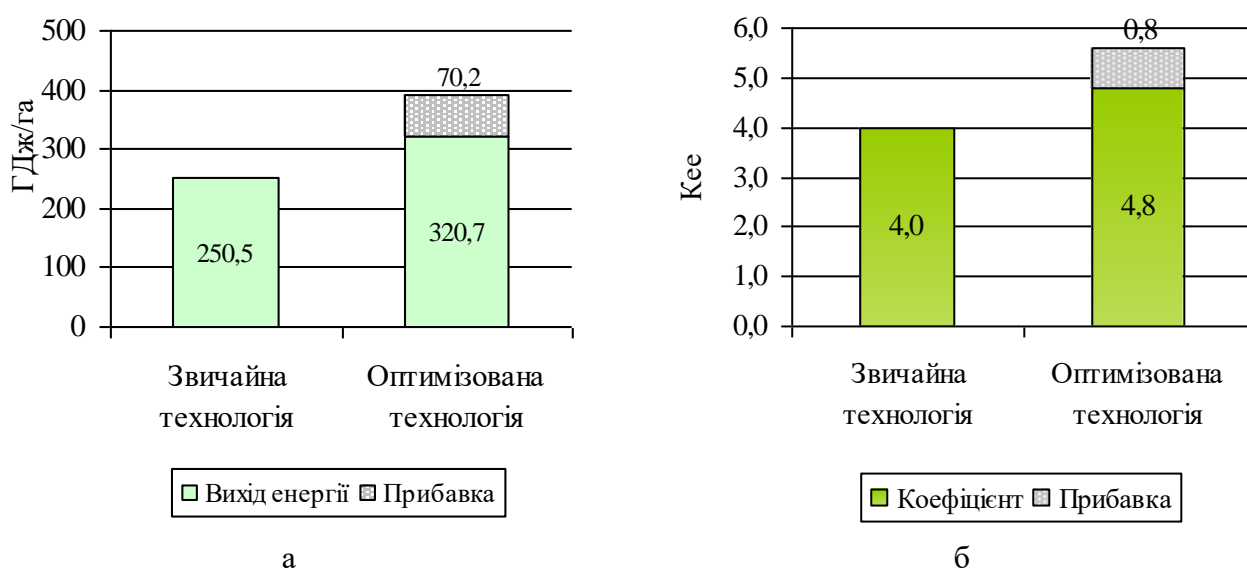
### Розділ 3. Урожайність та енергетична ефективність виробництва відновлюваної рослинної сировини енергетичних культур

до 3,6 ГДж/т, за одночасного збільшення коефіцієнта енергетичної ефективності на 0,8 одиниць (від 4,0 до 4,8).

Розраховано, що в середньому за три роки збільшуються сукупні витрати енергетичних ресурсів на 1 га посівів на 5,4 ГДж/га (з 61,3 до 66,7 ГДж/га) та зменшення на 0,6 ГДж/т енергемісткості технології виробництва культури. Ця динаміка спостерігалась як в динаміці років, так і в середньому за період проведення досліджень.

Визначено, що із зменшенням витрат енергії на технологічні операції за багаторічного циклу вирощування сорго багаторічного збільшується енергетичний коефіцієнт – відношення кількості енергії, накопиченої в урожаї, до кількості енергії, витраченої на її отримання.

Мінливість основних показників енергетичної ефективності виробництва біомаси сорго багаторічного (вихід енергії та коефіцієнт енергетичної ефективності) а також прибавка за звичайної та оптимізованої технології вирощування культури наведено на рис. 3.11.



**Рис. 3.11. Показники енергетичної ефективності (а – вихід енергії, б – коефіцієнт енергетичної ефективності) виробництва біомаси сорго багаторічного за звичайної та оптимізованої технології вирощування, середнє за 2015–2019 рр.**

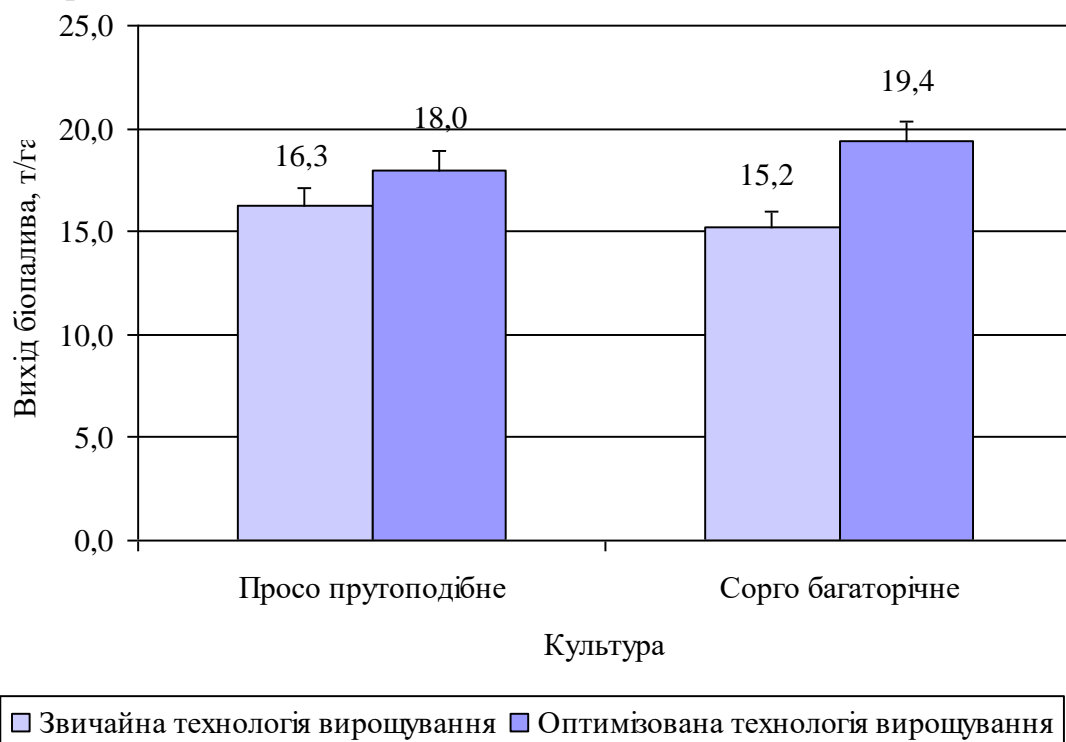
*Джерело: розрахунки авторів.*

Вирощування сорго багаторічного за оптимізованої технології, порівняно із звичайною, у середньому за третій–п’ятий вегетаційні роки дало можливість збільшити вихід енергії на 70,2 ГДж/га (від 250,5 до 320,7 ГДж/га), знизити енергемісткість технології виробництва на 0,6 ГДж/т (від 4,2 до 3,6 ГДж/т), та підвищити коефіцієнт енергетичної ефективності на 0,8 одиниць – від 4,0 до 4,8. Що є вагомим чинником для зменшення енергетичних витрат за вирощування енергетичних культур.

Порівнюючи вихід твердого біопалива із біомаси енергокультур поставлених на вивчення, визначено суттєве збільшення даного показника при

### Розділ 3. Урожайність та енергетична ефективність виробництва відновлюваної рослинної сировини енергетичних культур

оптимізованій технології вирощування. Так, вирощування проса прутіподібного за оптимізованою технологією, порівняно із звичайною дозволило збільшити вихід біопалива з 1 га для проса прутіподібного на 1,7 т, а для сорго багаторічного – на 4,2 т/га (рис. 3.12).



**Рис. 3.12. Вихід твердого біопалива з 1 га залежно від технології вирощування проса прутіподібного та сорго багаторічного, середнє за 2015–2019 рр.**

*Джерело: розрахунки авторів.*

При оцінці енергетичної ефективності вирощування енергетичних культур, не менш важливий показником є енергомiсткiсть технологiї виробництва (ЕМ), що вимiрюється в ГДж/т. Визначено, що ЕМ за оптимiзованої технологiї вирощування зменшується як для проса прутіподібного (на 0,1 ГДж/т), так і для сорго багаторічного (на 0,6 ГДж/т).

Отже, оптимізована технологія вирощування досліджуваних енергокультур, порівняно із звичайною дозволяє збільшити як їхню врожайність за сухою біомасою на фоні зниження енерговитрат, так і підвищити коефіцієнт енергетичної ефективності.

#### **Висновки.**

1. Застосування оптимізованої технології вирощування проса прутіподібного на маргінальних землях, що включала проведення напівпарової системи основного обробітку ґрунту, дві весняні і передпосівні культивуації, допосівне та післяпосівне прикочування ґрунту; сiвбу у весняні строки у другій декаді квітня норму висiву 300 схожих насiнин на 1 м<sup>2</sup> або це 3 млн шт. на 1 га (5,7 кг/га); широкорядний способом (45 см) сумісно з бобовим компонентом, застосування весняного азотного підживлення рослин у дозі 30 кг/га д. р.

### **Розділ 3. Урожайність та енергетична ефективність виробництва відновлюваної рослинної сировини енергетичних культур**

---

розпочинаючи з третього року вегетації культури дозволяє в умовах Лісостепу України збільшити врожайність біомаси до 16,4 т/га, що на 1,6 т/га вище порівняно із звичайною технологією (14,8 т/га).

2. Суттєво більшу врожайність біомаси сорго багаторічне (на 3,9 т/га), порівняно із звичайною технологією вирощування, отримано при застосуванні оптимізованої технології вирощування, що передбачає: використання напівпарової системи основного обробітку ґрунту, дві весняні культивації, проведення коткування до- і після сівби культури; використання допосівної підготовки насіння (калібрування та обробка мікроелементами); сівбу у весняні строки у другій декаді квітня нормою висіву 22,0 кг/га; широкорядним способом сівби (45 см) сумісно з бобовим компонентом, а також застосування весняного азотного підживлення рослин у дозі 30 кг/га д. р.

3. Коефіцієнт енергетичної ефективності, у середньому за роки дослідження, при виробництві біомаси енергетичних культур залежав від рівня їх врожайності, виходу енергії та енергомісткості елементів технології вирощування культури. Підвищення показника енергетичної ефективності отримали при оптимізованій технології вирощування проса прутоподібного на 0,5, а для сорго багаторічного – на 0,8 одиниць.

Наукове видання

# ОПТИМАЛЬНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ З УРАХУВАННЯМ НАЯВНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ У ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Монографія

Надруковано у ПП “Астроя”  
Свідоцтво про державну реєстрацію  
серія ДК № 5599 від 19.09.2017 р.  
36014, м. Полтава, вул. Шведська, 20-Б, кв. 4  
Підписано до друку 23.12.2019 р.  
Формат 60x84/16. Папір офсетний. Гарнітура ШРИФТ.  
Друк різнографічний. Умовн. друк. арк. 5,82.  
Наклад 500 шт. Замовлення 2019-48

**Видавництво ПП “Астроя”**  
36014, м. Полтава, вул. Шведська, 20, кв. 4  
Тел.: +38 (0532) 509-167, 611-694  
E-mail: astraya.pl.ua@gmail.com, веб-сайт: astraya.pl.ua  
Свідоцтво суб’єкта видавничої справи ДК № 5599 від 19.09.2017 р.

**Друк ПП “Астроя”**  
36014, м. Полтава, вул. Шведська, 20, кв. 4  
Тел.: +38 (0532) 509-167, 611-694  
Дата державної реєстрації та номер запису в ЄДР  
14.12.1999 р. № 1 588 120 0000 010089