
Аналіз методів та засобів боротьби з бур'янами

Сергій Грушецький

Кафедра агроінженерії і системотехніки імені Михайла Самокиша, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», м. Кам'янець-Подільський, Україна
ORCID 0000-0002-0487-6152

Віталій Пукас

Кафедра тракторів, автомобілів та енергетичних засобів, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», м. Кам'янець-Подільський, Україна
ORCID 0000-0002-0083-7359

Іван Стратій

Кафедра агроінженерії і системотехніки імені Михайла Самокиша, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», м. Кам'янець-Подільський, Україна
ORCID 0000-0002-0487-6152

Для цитування цієї статті:

Грушецький Сергій, Пукас Віталій, Стратій Іван. Аналіз методів та засобів боротьби з бур'янами. International Science Journal of Engineering & Agriculture. Vol. 3, No.6, 2024, pp. 48-60. doi: 10.46299/j.isjea.20240306.05.

Надійшла до редакції: 03 листопада 2024 р.; **Схвалено:** 30 листопада 2024 р.;

Опубліковано: 01 грудня 2024 р.

Анотація: Боротьба з бур'янами є важливим елементом агротехніки, оскільки бур'яни значно впливають на врожайність сільськогосподарських культур, знижують якість продукції та погіршують екологічний стан ґрунту. Існують різноманітні методи боротьби з бур'янами, які можна класифікувати на механічні, хімічні, біологічні та агротехнічні. Механічні методи включають оранку, культивування та скошування, що сприяють фізичному знищенню бур'янів або припиняють їхній розвиток. Хімічні методи передбачають використання гербіцидів, як контактних, так і системних, для знищення бур'янів на різних етапах їхнього розвитку. Біологічні методи базуються на використанні природних ворогів бур'янів, таких як паразити або хвороби, що зменшують їх чисельність. Агротехнічні методи включають сівозмину, мульчування та глибоке оброблення ґрунту, що сприяють зменшенню проростання бур'янів. Успішна боротьба з бур'янами вимагає інтегрованого підходу, що поєднує кілька методів для досягнення стійкого та економічно ефективного результату.

Ключові слова: бур'яни, методи боротьби, механічні методи, хімічні методи, гербіциди, біологічні методи, агротехнічні методи, сівозмину, мульчування, культивування, оранка, скошування, контактні гербіциди, системні гербіциди, екологічна ефективність.

1. Вступ

Знищення бур'янів є однією з ключових задач у сільському господарстві, оскільки бур'яни є серйозними конкурентами для культурних рослин, знижуючи їх врожайність і якість продукції. Вони поглинають вологу, поживні речовини та світло, що необхідні для нормального росту сільськогосподарських культур. Крім того, деякі види бур'янів можуть бути джерелами хвороб або шкідників, що ще більше ускладнює процес вирощування рослин.

Протягом останніх десятиліть для боротьби з бур'янами було розроблено і впроваджено різноманітні методи та засоби. Вибір оптимального способу залежить від багатьох факторів, серед яких: тип і вид бур'янів, культура, що вирощується, особливості ґрунту, кліматичні умови, а також економічні і екологічні міркування. Кожен з методів має свої переваги та недоліки, і часто найбільш ефективними є комплексні підходи, що поєднують механічні, хімічні, біологічні та агротехнічні методи.

Механічні методи боротьби з бур'янами, такі як оранка, культивування, скошування, надають можливість фізично знищити або затримати розвиток бур'янів. Хімічні засоби, зокрема гербіциди, дозволяють швидко й ефективно контролювати зростання небажаних рослин, але їх використання потребує обережності, щоб мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище. Біологічні методи, які ґрунтуються на використанні природних ворогів бур'янів, стають все більш популярними завдяки своїй екологічній безпеці. Агротехнічні методи, такі як сівозміна, мульчування або глибоке оброблення ґрунту, є важливими складовими інтегрованої боротьби з бур'янами.

У цьому контексті важливо провести аналіз існуючих методів та засобів боротьби з бур'янами, оцінити їх ефективність та визначити найкращі практики для конкретних аграрних умов. Застосування інтегрованих методів зниження бур'янів, що поєднують різні підходи, дозволяє досягти стійких і економічно вигідних результатів, зберігаючи екологічну рівновагу.

2. Об'єкт і предмет дослідження

Об'єкт дослідження – це аграрний процес боротьби з бур'янами в сільському господарстві, зокрема методи та засоби, які застосовуються для контролю їх росту та розвитку в агроєкосистемах. Об'єктом є всі аспекти, пов'язані з управлінням бур'янами на сільськогосподарських угіддях, включаючи ґрунтові, кліматичні, агротехнічні та економічні умови.

Предмет дослідження – це конкретні способи, методи та засоби боротьби з бур'янами, які використовуються в сучасному сільському господарстві. Це включає механічні, хімічні, біологічні та агротехнічні методи, а також різні препарати, технічні засоби і технології, що використовуються для боротьби з бур'янами. Дослідження зосереджене на аналізі ефективності цих методів в контексті зниження їх негативного впливу на врожайність культур, екологічну безпеку та економічну доцільність.

Таким чином, предмет дослідження охоплює всі технічні, наукові та практичні аспекти боротьби з бур'янами, що включають різноманітні інструменти та підходи для контролю та знищення бур'янів, а також оцінку їх ефективності та впливу на сільськогосподарське виробництво.

3. Мета та задачі дослідження

Мета дослідження полягає в аналізі ефективності різних методів і засобів боротьби з бур'янами в сільському господарстві, визначенні їх переваг, недоліків та оптимальних варіантів використання для досягнення стійкого та економічно вигідного результату, який не шкодить навколишньому середовищу та здоров'ю людини. Також важливо вивчити можливості інтеграції різних підходів у боротьбі з бур'янами для забезпечення найкращих агрономічних і екологічних результатів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **основні задачі**:

- оцінити основні методи боротьби з бур'янами: механічні, хімічні, біологічні та агротехнічні. Визначити, які з них є найбільш ефективними для різних типів бур'янів і культурних рослин;
- проаналізувати хімічні засоби боротьби з бур'янами (гербіциди): дослідити різні види гербіцидів, їх механізм дії, ефективність та вплив на навколишнє середовище;

- вивчити механічні методи боротьби: розглянути їх застосування (орані, культивація, скошування), ефективність у боротьбі з однорічними та багаторічними бур'янами, а також вплив на структуру ґрунту;
- дослідити біологічні методи: визначити можливості використання природних ворогів бур'янів (паразитів, грибків, інвазивних видів) для екологічно безпечної боротьби з ними;
- оцінити агротехнічні методи: дослідити, як сівозміна, мульчування, глибоке оброблення ґрунту та інші агротехнічні заходи сприяють зниженню бур'янів;
- аналізувати інтегровані методи боротьби з бур'янами: визначити ефективність поєднання різних методів у системах управління бур'янами, що дозволяє мінімізувати ризики для екосистеми та економічні витрати;
- оцінити екологічні та економічні аспекти: вивчити вплив застосовуваних методів на довкілля, зокрема на ґрунтову біоту, воду та повітря, а також економічну ефективність використання різних засобів боротьби з бур'янами в аграрному секторі;
- розробити рекомендації для оптимізації боротьби з бур'янами: на основі проведеного аналізу запропонувати комплексні заходи для зниження впливу бур'янів, що будуть сприяти підвищенню врожайності, економічної вигоди та екологічної безпеки в аграрному виробництві.

Таким чином, метою дослідження є створення комплексного підходу до боротьби з бур'янами, що об'єднує різні методи та засоби для забезпечення оптимальних результатів у сільському господарстві з урахуванням економічних, екологічних і агрономічних чинників.

4. Аналіз літератури

Аналіз літератури, присвяченої боротьбі з бур'янами, дозволяє отримати всебічне розуміння існуючих методів, засобів та підходів до їх знищення в сільському господарстві. Бур'яни є однією з найбільших загроз для сільськогосподарських культур, і для ефективної боротьби з ними науковці і практики використовують різноманітні способи, що включають механічні, хімічні, біологічні та агротехнічні методи.

Механічні методи боротьби з бур'янами

Механічні методи, такі як оранка, культивація, скошування та прополювання, є одними з найстаріших і найпоширеніших способів боротьби з бур'янами. На думку багатьох авторів, механічні методи забезпечують фізичне знищення бур'янів або їхнє припинення в розвитку:

- **оранка і глибоке оброблення ґрунту** сприяють не лише знищенню бур'янів, а й покращують структуру ґрунту, що важливо для підвищення врожайності культур (Шарданова, 2018);

- **культивація** є ефективною для боротьби з пророслими бур'янами, особливо на поверхневому рівні. Однак вона вимагає частішої обробки, що може бути дорогим і трудомістким процесом, особливо в умовах великої площі (Корнієнко, 2019).

- **скошування та прополювання** – це фізичні способи видалення бур'янів на поверхні ґрунту, однак для боротьби з багаторічними рослинами ці методи не завжди ефективні, оскільки коріння бур'янів залишається в ґрунті і вони можуть відновлюватися (Бендас, 2017).

Хімічні методи боротьби з бур'янами

Хімічні методи боротьби з бур'янами, зокрема використання гербіцидів, є одними з найефективніших і найпоширеніших у сучасному сільському господарстві. Вони дозволяють швидко та ефективно знищувати бур'яни без фізичного втручання в ґрунт:

- **гербіциди** поділяються на контактні та системні, і кожен тип має свої переваги залежно від виду бур'янів. Системні гербіциди, такі як **Раундап** (гліфосат), мають властивість проникати всередину рослини та знищувати її повністю, в тому числі кореневу систему (Батурин, 2020);

- згідно з дослідженнями (Кириченко, 2017), гербіциди можуть бути дуже ефективними для контролю бур'янів на великих площах, проте їх використання вимагає обережності через

потенційну шкоду для навколишнього середовища та здоров'я людини. Підвищена стійкість бур'янів до гербіцидів, а також можливість забруднення ґрунтів і водних ресурсів – основні проблеми, що піднімаються в наукових статтях (Остромова, 2016).

Біологічні методи боротьби з бур'янами

Біологічні методи боротьби з бур'янами є порівняно новим підходом, що набуває популярності завдяки своїй екологічній безпеці. Вони базуються на використанні природних ворогів бур'янів – паразитичних комах, грибків чи бактерій;

- у наукових працях описуються різні види біологічного контролю, зокрема використання **грибків роду *Fusarium***, які можуть інфікувати бур'яни, і **інвазивних комах**, що харчуються певними видами бур'янів (Бабич, 2018);

- дослідження показують, що біологічні методи є більш стійкими та екологічно безпечними, однак вони потребують значного часу для впровадження і виведення відповідних видів природних ворогів (Литвиненко, 2020).

Агротехнічні методи боротьби з бур'янами

Агротехнічні методи, зокрема сівозмінна, мульчування та глибоке оброблення ґрунту, є важливими заходами для попередження проростання бур'янів і забезпечення стійкості сільськогосподарських культур.

- **сівозмінна** допомагає значно зменшити кількість бур'янів, оскільки різні культури мають різні вимоги до ґрунту і часу посіву, що ускладнює умови для росту бур'янів (Дорошенко, 2019);

- **мульчування** є одним з найефективніших агротехнічних методів для запобігання проростанню бур'янів. Це метод, при якому поверхня ґрунту покривається матеріалами, що блокують доступ світла до бур'янів, знижуючи їх ріст (Ковальчук, 2020).

Інтегровані методи боротьби з бур'янами

В останні роки зростає популярність інтегрованих підходів до боротьби з бур'янами, які комбінують механічні, хімічні, біологічні та агротехнічні методи. Вони дозволяють досягти кращих результатів при мінімізації негативних наслідків для навколишнього середовища і економічної ефективності:

- як зазначають у роботах Бендаса (2017) та Кириченка (2017), комбінування хімічних та механічних методів дає значні переваги, оскільки механічні обробки знижують кількість гербіцидів, які потрібні для боротьби з бур'янами, а біологічні методи підтримують ці процеси на довгостроковій основі;

- вивчення інтегрованих підходів показало, що вони дозволяють зменшити загальний вплив на навколишнє середовище, зберігаючи при цьому високу ефективність боротьби з бур'янами (Литвиненко, 2020).

Аналіз літератури підтверджує, що боротьба з бур'янами потребує використання комплексних підходів, що включають різноманітні методи та засоби. Механічні, хімічні, біологічні та агротехнічні методи мають свої переваги і недоліки, але їх ефективність значно зростає при інтегрованому використанні. Вибір методів залежить від специфіки аграрного виробництва, виду бур'янів, умов вирощування культур та економічної доцільності. У майбутньому, з огляду на еко- та агрономічні вимоги, особливо важливим буде розвиток та впровадження інтегрованих технологій, що забезпечують збалансовану боротьбу з бур'янами в умовах сталого землеробства [1-16].

5. Методи досліджень

Для досягнення поставленої мети та вирішення задач дослідження застосовуються різноманітні наукові методи, які дозволяють комплексно оцінити ефективність та екологічні наслідки різних методів і засобів боротьби з бур'янами. Методи дослідження базуються на якості та кількості зібраних даних, а також специфіці обраної теми. У даному випадку використовуються як теоретичні, так і експериментальні методи.

Аналіз літературних джерел

Цей метод включає систематичне вивчення наукових статей, монографій, дисертацій та інших публікацій, що стосуються проблеми боротьби з бур'янами. Метою є:

- визначити основні напрямки наукових досліджень у цій галузі;
- оцінити ефективність різних методів боротьби з бур'янами;
- дослідити існуючі теоретичні підходи та практичні рекомендації;
- визначити прогалини в наукових дослідженнях, що потребують подальшого вивчення.

Цей метод дозволяє сформулювати теоретичну базу для дослідження та узагальнити існуючі дані, що стосуються ефективності боротьби з бур'янами.

Полеві дослідження (експериментальні методи)

Полеві дослідження є основним методом для оцінки практичної ефективності різних способів боротьби з бур'янами в умовах реального агропромислового виробництва. Вони включають:

- порівняльне дослідження методів. На різних ділянках проводяться експерименти із застосуванням механічних, хімічних, біологічних та агротехнічних методів боротьби з бур'янами. Це дає змогу порівняти ефективність різних підходів в умовах конкретної місцевості;
- вимірювання рівня забруднення ґрунту та води. Вивчення впливу хімічних гербіцидів на навколишнє середовище, в тому числі на забруднення ґрунту та водних ресурсів;
- аналіз врожайності культур. Оцінка того, як боротьба з бур'янами впливає на врожайність культурних рослин на полях, де застосовуються різні методи боротьби;
- оцінка економічної ефективності. Визначення витрат на впровадження різних методів та їх економічної вигоди для аграрних підприємств.

Математичний та статистичний аналіз

Для обробки даних, отриманих в ході експериментальних досліджень, використовуються математичні та статистичні методи. Це дозволяє:

- обробляти великі обсяги даних. Порівнювати ефективність різних методів за допомогою статистичних методів (наприклад, аналізу варіації, кореляційного аналізу);
- оцінювати статистичну значущість результатів. Визначати, чи є різниця в ефективності застосування різних методів боротьби з бур'янами за допомогою статистичних тестів (наприклад, t-тесту);
- моделювання. Використовувати моделі для прогнозування результатів застосування різних методів боротьби з бур'янами на основі даних експериментів.

Екологічний моніторинг

Оцінка впливу методів боротьби з бур'янами на навколишнє середовище є важливою складовою дослідження. Це включає:

- дослідження впливу гербіцидів на біоту ґрунту та водних екосистем. Зокрема, вивчення того, як хімічні препарати впливають на мікроорганізми, інші рослини та тварин, що мешкають на полях;
- оцінка стійкості агроекосистем до впливу різних методів боротьби з бур'янами, включаючи вивчення біологічної різноманітності;
- моніторинг ерозії ґрунтів після застосування механічних методів або гербіцидів, щоб визначити їх вплив на деградацію ґрунту.

Моделювання процесів

Для прогнозування результатів боротьби з бур'янами в умовах змінного клімату, різних типів ґрунтів та різних методів обробітку використовуються математичні моделі. Це дозволяє:

- прогнозувати ефективність застосування різних методів боротьби з бур'янами в умовах змін клімату та в різних агрономічних умовах;
- оцінювати тривалість ефекту після застосування певних методів, а також можливі наслідки для навколишнього середовища та сільськогосподарських культур.

Анкетування та експертні опитування

Метод анкетування серед сільськогосподарських виробників, агрономів і фахівців агробізнесу дозволяє отримати інформацію про практичний досвід застосування різних методів боротьби з бур'янами. Цей метод дозволяє:

- оцінити актуальні проблеми та потреби аграріїв у контексті боротьби з бур'янами;
- зібрати практичні дані про застосування методів, які показали свою ефективність чи, навпаки, мали негативні наслідки.

Застосування комбінованих методів дослідження (аналіз літератури, польові експерименти, математичне моделювання, екологічний моніторинг) дозволяє отримати глибоке і всебічне розуміння проблеми боротьби з бур'янами в сільському господарстві. Завдяки цьому, можна не лише оцінити ефективність різних методів, а й розробити комплексні рекомендації для оптимізації використання методів боротьби з бур'янами, з урахуванням їх впливу на навколишнє середовище та економічну ефективність.

6. Результати досліджень

Підтримання сільськогосподарських угідь у належному стані є важливим економічним завданням держави. Одним з критеріїв оцінки стану сільськогосподарських угідь є ступінь їх заростання бур'янами [1].

Механічними засобами боротьби [2, 3] здійснюється прополка, обрізка, висмикування і скошування. Прополка проводиться мотикою або звичайною лопатою, а обрізка - спеціальною вузькою лопатою, яка використовується для обрізки рослин. Застосування цих заходів в боротьбі з бур'янами вимагає значних трудовитрат, що може бути виправдано на кормових угіддях, які особливо цінні в боротьбі з великими грубостебловими бур'янами. Висмикування може бути використано для боротьби з отруйними бур'янами - віхою отруйною і морозником. Скошування не є трудомістким методом боротьби з бур'янами. Воно полягає в скошуванні бур'янів газонокосаркою на висоті 10 см... На етапі весняного стеблуння або формування 2-го ухилу 12 см. у цей період його використовують для боротьби з ранніми бур'янами, що перевищують по висоті цінну траву. При регулярному скошуванні протягом 3 років... Через 4 роки коренева система бур'янів виснажується, що може призвести до втрати пасовищ. Якщо ви будете скошувати траву передчасно протягом декількох років, то не тільки збільшиться кількість трави і зменшиться її частка, але і може знизитися врожайність. Для скошування використовуються сегментно-пальцеві, ротаційні, пружинні, шнекові і стрічково-ріжучі машини (рис. 1). [3].

Щоб уникнути накопичення сухих стебел на оброблюваних землях, необхідно забезпечити видалення зрізаних стебел, але це вимагає використання пристрою для видалення скошеної рослинності або ручного видалення рослинності після проходу косарки, що значно збільшує експлуатаційні витрати. Тому важливо розробити обладнання, яке виконує косіння та прополкування за один прохід.

Шляхи вирішення цього завдання можуть бути такими:

- створення комбінованого начіпного обладнання з робочими органами для зрізання та видалення рослинності;
- розробляння машини з робочим органом, який виконує зрізання і подрібнення зрізаних частин рослин.

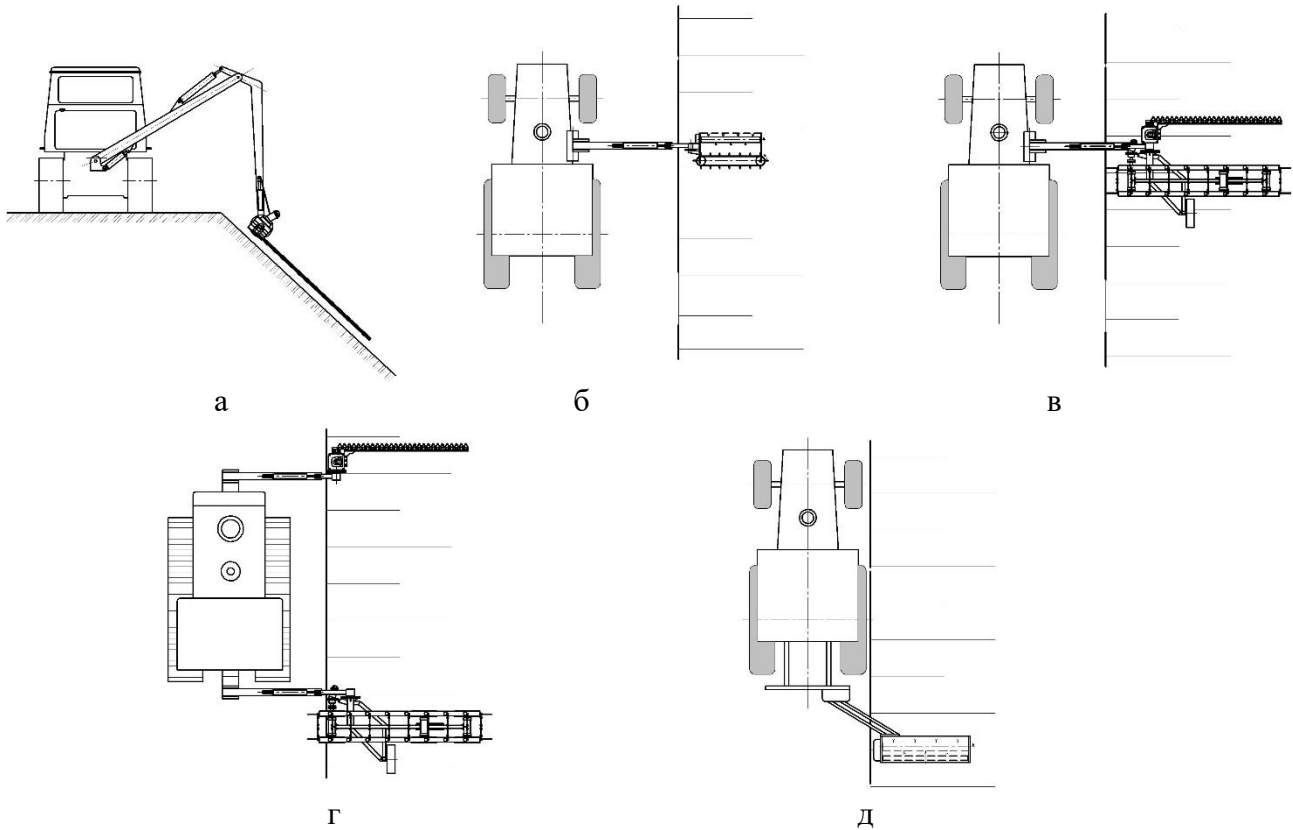


Рис. 1.1. Схеми машин для знищення бур'янів:

а – сегментна косарка; б – роторна косарка; в – сегментна косарка з підбирачем;
г – сегментна косарка з підбирачем покращеної компоновки; д – мульчувач.

Відомими розробниками комбінованого обладнання є такі конструкторські бюро, як Brovesco-Conver (Німеччина), Mashio-Gaspardo та Ferri (Італія) [4].

Розглянемо деякі існуючі конструкції прополювачів. На рис. 1, б показана машина з ротаційною косаркою [4] і підбирачем, змонтованими на одній рамі і з'єднаними з трактором за допомогою стріли і рукоятки. Пальці підбирача рухаються в напрямку базової машини, а сам транспортер розташований перпендикулярно до площини косарки.

На рис. 1, в показана машина, оснащена сегментною косаркою і підбирачем, які змонтовані на одній рамі і з'єднані з трактором за допомогою стріли і кронштейна [4]. Пальці транспортера підбирача рухаються в напрямку берега каналу, а сам транспортер паралельний робочій площині косарки.

Конструкція, показана на рис. 1 г, відрізняється від традиційної тим, що косарка кріпиться до передньої частини трактора за допомогою стріли і кронштейна [4]. Перевагою такої конструкції є те, що високі бур'яни (осот, лобода, очерет та ін.) можуть бути видалені більш ефективно за допомогою запропонованої компоновки машини.

Для боротьби з високими бур'янами на сільськогосподарських угіддях широко використовується причіпна техніка з робочим органом у вигляді горизонтального барабана з ножем певної форми [5]. Барабан приводиться в рух валом відбору потужності, як, наприклад, в обладнанні Mashio-Gaspardo та Kuhn [5], або гідравлічним двигуном (як приклад, Conver C-26) [4]. Він обертається досить часто, щоб зрізати та подрібнити рослинність, яку потрібно скосяти. Цей процес називається мульчуванням, а пристрій – мульчером (рис. 1, д). Ножі мульчера частково пошкоджують кореневу систему рослини. За допомогою цієї машини достатньо однієї-двох обробок за сезон, тоді як інші типи машин потребують двох-трьох обробок.

Загальноприйнятими методами боротьби з бур'янами є нанесення робочого розчину гербіциду на бур'янисті ділянки з наземного транспортного засобу, оснащеного розпилювачем, з ручного обприскувача або шляхом контактного обприскування [4].

Основним способом внесення гербіцидів є обприскування (рис. 2, а). Приблизно 75% рідких препаратів, що використовуються в агровиробництві, розпилюються саме цим методом [5]. Залежно від швидкості потоку робочої рідини обприскування можна розділити на звичайне обприскування, обприскування малими об'ємами, аерозольне обприскування та обприскування пилом.

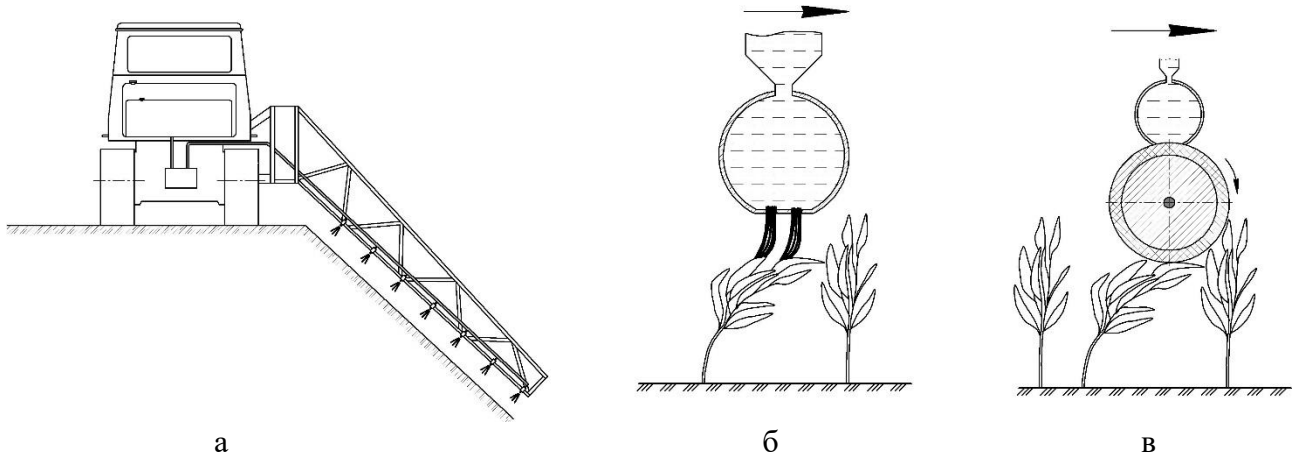


Рис. 2. Схеми обладнання для боротьби з бур'янами хімічним способом:
а – шляхом обприскування; б – контактним способом гнотовим робочим органом;
в – з робочим органом у вигляді барабана.

Звичайним вважають обприскування, при якому норма внесення робочої рідини складає 100...500 л/га для польових культур і більше 500 л/га на багаторічних насадженнях і смугах відчуження.

Основними напрямками розвитку засобів обприскування є:

- збільшення ємності баку, ширини захвату та робочої швидкості;
- зменшення норми витрати робочого розчину;
- покращення санітарно-гігієнічних умов праці;
- автоматизація робочого процесу.

Обладнання, що працює за другим способом (рис. 3) [6], не тільки забезпечує ефективне знищення високорослих бур'янів та іншої небажаної рослинності, а й зменшує витрати гербіцидів, оскільки надземна частина рослини вже знищена.

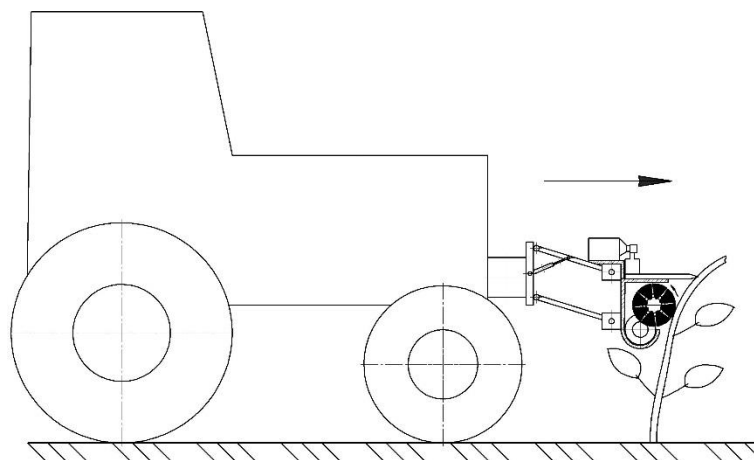


Рис. 3. Обладнання для знищення високорослих бур'янів.

Відомі технічні рішення з конструювання машин, що забезпечують реалізацію технічного процесу боротьби з бур'янами за другим способом, не передбачають видалення зрізаної

рослинності за межі робочої зони обладнання. Це може призвести до того, що скупчення зрізаних високих наземних стебел бур'янів захаращують територію (рис. 4) і потенційно заважають роботі іншої сільськогосподарської техніки.



Рис. 4. Ділянка цукрового буряка після обробки пристроєм контактного нанесення

Стебла зрізаної рослинності можна використати для потреб народного господарства. Зокрема, стебла такої рослини, як очерет, містять 40...45 % целюлози і можуть бути сировиною для целюлозно-паперового виробництва [6].

Отже, з вище наведеного можна зробити такі висновки:

1. Актуальною є потреба в розробці конструкції машин контактної дії для знищення бур'янів.
2. Обґрунтуванні переліку та конструктивного виконання робочих органів машини, виходячи з потреби виконання за один прохід операцій зрізання стебел бур'янів, нанесення гербіциду на площу зрізу та видалення зрізаних стебел із зони росту культурних рослин.

7. Перспективи подальшого розвитку досліджень

Боротьба з бур'янами залишається однією з ключових проблем сільського господарства, і попри значні досягнення в цій галузі, наукове та практичне розв'язання цієї проблеми вимагає подальших досліджень та інновацій. Зважаючи на актуальні виклики, пов'язані з необхідністю збереження екологічної рівноваги, економічної ефективності та стійкості агросистем, перспективи подальших досліджень з боротьби з бур'янами мають кілька важливих напрямків.

Інтегровані методи боротьби з бур'янами

Одним з найбільш перспективних напрямів є розробка та впровадження інтегрованих систем управління бур'янами. Вивчення можливостей комбінування механічних, хімічних, біологічних та агротехнічних методів дає змогу досягти оптимальних результатів при збереженні екологічної безпеки. В майбутньому важливим стане розвиток моделей для прогнозування ефективності таких комплексних підходів в залежності від агрокліматичних умов, типу бур'янів та сільськогосподарських культур.

Інтегровані підходи дозволяють знижувати залежність від гербіцидів, що в свою чергу зменшує ризик виникнення резистентності у бур'янів та мінімізує негативний вплив на довкілля.

Біологічний контроль і використання природних ворогів

Біологічний контроль бур'янів з використанням природних ворогів, таких як паразитичні рослини, комахи, гриби та бактерії, є ще одним перспективним напрямом досліджень. Оскільки цей метод має менший вплив на екосистему в порівнянні з хімічними методами, він вимагає поглиблених досліджень щодо:

- ідентифікації та ефективності природних ворогів бур'янів;
- вивчення механізмів взаємодії між бур'янами та їх природними супротивниками;
- техніки масового розведення та впровадження біологічних агентів для знищення бур'янів в польових умовах.

Розвиток цього напрямку дозволить знизити використання хімічних засобів та забезпечити сталий розвиток сільського господарства.

Технології точного землеробства та автоматизація боротьби з бур'янами

Сучасні технології точного землеробства, зокрема використання супутникових знімків, дронів та автоматизованих систем, можуть значно покращити ефективність боротьби з бур'янами. Ці технології дозволяють:

- прецизійне застосування гербіцидів. Визначення точних зон на полі, де необхідно проводити обробки, що дозволяє знизити витрати на пестициди та мінімізувати їхнє забруднення навколишнього середовища;
- моніторинг стану полів. Використання дронів і супутникових знімків для моніторингу росту бур'янів і виявлення проблемних ділянок в реальному часі;
- автоматизація обробки ґрунту та боротьби з бур'янами. Створення роботизованих систем для автоматичного збирання бур'янів або обробки ґрунту.

Ці інновації дозволяють значно підвищити ефективність і зменшити трудові витрати на боротьбу з бур'янами.

Розробка нових гербіцидів і вдосконалення існуючих

Не дивлячись на екологічні загрози, пов'язані з хімічними гербіцидами, потреба в розробці нових, більш безпечних і ефективних гербіцидів** залишається актуальною. Пріоритетами в цьому напрямку є:

- гербіциди з вибірковою дією, які не впливають на культурні рослини, але ефективно знищують бур'яни;
- розробка гербіцидів на основі природних сполук або біорозкладних хімічних речовин, які знижують ризик забруднення ґрунтів і вод;
- нова генерація гербіцидів, які можуть впоратися з бур'янами, що набули стійкості до традиційних хімічних засобів.

Цей напрямок включає також дослідження мікробіологічних та ферментативних методів для знищення бур'янів без застосування токсичних хімічних речовин.

Екологічні та соціально-економічні аспекти боротьби з бур'янами

Незважаючи на наукові досягнення в галузі боротьби з бур'янами, важливими залишаються екологічні та соціально-економічні аспекти. Це включає:

- економічна оцінка ефективності методів боротьби. Порівняння витрат на різні методи боротьби з бур'янами, зокрема механічні, хімічні, біологічні та комбіновані підходи;
- екологічний моніторинг. Подальше вивчення впливу хімічних гербіцидів і механічних обробок на довкілля, біорізноманіття, структуру ґрунтів та водних ресурсів;
- інформування та освіта агрономів і фермерів. Розробка освітніх програм для підвищення обізнаності сільськогосподарських виробників щодо екологічно безпечних методів боротьби з бур'янами та можливості їх застосування.

Адаптація до змін клімату

Зміни клімату створюють нові виклики для агрономів у боротьбі з бур'янами, оскільки зростає ризик появи нових видів бур'янів, які раніше не мали значного впливу на сільське господарство. Ось деякі напрямки досліджень, що потребують подальшого розвитку:

- вивчення впливу кліматичних змін на ріст і поширення бур'янів;

- дослідження адаптації нових видів бур'янів до умов змінного клімату та можливість їхнього контролю;
- розробка стійких до бур'янів сортів культур для зменшення їхнього впливу на сільськогосподарські рослини в умовах змінного клімату.

Перспективи подальшого розвитку досліджень боротьби з бур'янами включають як вдосконалення традиційних методів, так і розвиток нових технологій та підходів. Інтегровані методи, біологічний контроль, новітні технології точного землеробства, а також удосконалення хімічних засобів боротьби з бур'янами повинні стати основою для створення ефективних і екологічно безпечних стратегій боротьби з бур'янами в сільському господарстві. Окрім цього, важливо продовжувати дослідження соціально-економічних та екологічних аспектів, що забезпечить більш сталий розвиток аграрної галузі.

8. Висновки

Проблема боротьби з бур'янами є однією з ключових у сільському господарстві, оскільки бур'яни значно знижують врожайність, погіршують якість сільськогосподарської продукції та зменшують економічну ефективність виробництва. Відтак, пошук і впровадження ефективних методів і засобів боротьби з бур'янами є необхідним для забезпечення сталого розвитку аграрного сектору. На основі проведеного аналізу методів і засобів боротьби з бур'янами можна зробити кілька важливих висновків:

1. Боротьба з бур'янами вимагає комплексного підходу, що включає використання механічних, хімічних, біологічних та агротехнічних методів. Комбінація різних підходів дозволяє досягти кращих результатів з мінімальними витратами і меншим негативним впливом на навколишнє середовище.

2. Інтегровані стратегії та новітні технології точного землеробства повинні стати основою сучасних практик боротьби з бур'янами, забезпечуючи ефективність, економічну вигоду та збереження екологічного балансу.

3. Біологічний контроль і розробка стійких сортів культур є перспективними напрямками, які можуть зменшити залежність від хімічних засобів і забезпечити більш стійке та екологічно безпечне сільське господарство.

4. Підвищення екологічної обізнаності серед агрономів та фермерів є важливим кроком для сталого управління агроecosystemами та збереження довкілля.

У результаті, подальші дослідження повинні орієнтуватися на інтеграцію технологій, удосконалення методів біологічного контролю, розвиток інноваційних технологій та зменшення впливу хімічних речовин на навколишнє середовище, що дозволить досягти стійкості сільського господарства в умовах змінного клімату та зростаючої потреби в екологічно чистих продуктах.

Список літератури:

1) Бабій А. В. Оптимізація конструктивних параметрів опор бака спеціального малогабаритного обприскувача : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва». Тернопіль, 2005. 18 с.

2) Барановський О. С., П'ятаченко В. І. Дослідження процесу пневматичного осадження краплин при обприскуванні. Механізація та електрифікація сільського господарства. 2006. Вип. 90. С. 203–211.

3) Барановський О. С., Марченко В. В. Механіко-технологічні засади ефективності застосування пестицидів при обприскуванні. Аграрна техніка та обладнання. 2008. № 4 (5). С. 34–38.

4) Бундза О. З., Нікітін В. Г. Вплив жорсткості стебла рослини на роботу пристрою контактного мащення. Енергоощадні машини і технології: тези доповідей II Міжнародної

науково-технічної конференції. Київ : Київський національний університет будівництва і архітектури, 2015. 163 с.

5) Бундза О. З., Нікітін В. Г. Дослідження процесу взаємодії барабана контактної пристрою із стеблом рослини : тези V всеукраїнської науково-практичної конференції «Інноваційні технології в АПК». Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2015. С. 87–89.

6) Бундза О. З. Дослідження пружних властивостей стебел бур'янів індукційним методом. «Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві» : матеріали XXII Всеукр. конф.-семінару аспірантів, докторантів та здобувачів у галузі аграрної інженерії (Глеваха, 21 – 23 травня 2014) / Національна Академія аграрних Наук України, Національний науковий центр «ІМЕСГ». Глеваха. 2014. Вип. 99. Том 2. С. 211–215.

7) Бундза О. З. Результати дослідження ресурсозберігаючої технології знищення бур'янів. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Збірник наукових праць / ДНУ «Український науково-дослідний інститут прогнозування та випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого». Дослідницьке, 2013. Вип. 17(31) кн.2. с. 97–101.

8) Бундза О. З. Ресурсозберігаюча технологія знищення бур'янів і засіб для її відтворення. Механізація та електрифікація сільського господарства: Міжвідомчий тематичний науковий збірник. Глеваха, 2013. Вип. 98. Т. 2. С. 427–433.

9) Войтюк Д. Г., Онищенко Б. В. Обґрунтування установки для експериментальних досліджень процесу осідання краплини при роботі обприскувача. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. Київ : НУБіП, 2010. вип.144 ч.1. С. 125–129.

10) Войтюк Д. Г., Онищенко В. Б. Теоретичні дослідження процесу осідання краплі змінної маси у відкритому просторі : збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. 2012. №11. Т. 2 (66). С. 312–317.

11) Вплив осаджаючого повітряного потоку на зменшення знесення розпиленних крапель / В. В. Ратушний та ін. Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 97, 2013. С. 349–357.

12) Ковбаса В. П., Швайко В. М., Гуцол О. П. Механіка сільськогосподарських матеріалів та середовищ : навч. посібник : за ред. проф. Ковбаси В. П. Ніжин : Видавець ПП Лисенко М. М., 2015. 536 с.

13) Гуцол В. В., Грушецький С. М. Аналіз конструкцій робочих органів машин для знищення бур'янів контактним способом. *Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь* : матеріали ІХ Міжнар. наук.-прак. конф., м. Житомир, 5 квіт. 2023 р. Житомир : АТК, 2023. С. 155-157.

14) Гуцол В. В. Конструкція машини для знищення бур'янів контактною дією. *Перші наукові кроки – 2023* : збірник наукових праць Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та молодих науковців (14 квітня 2023 р., м. Кам'янець-Подільський). Кам'янець-Подільський, 2023. С. 21. <http://188.190.43.194:7980/jspui/handle/123456789/11035>.

15) Грушецький С. М., Корчак М. М., Гуцол В. В., Овчарук О. В. Схеми машин для знищення бур'янів контактним способом // Тенденції та виклики сучасної аграрної науки: теорія і практика. Присвячена 125-річчю кафедри рослинництва НУБіП України матеріали V міжнародної науково-практичної онлайн конференції (м. Київ, 25-27 жовтня 2023 р.) / НУБіП України, 2023. С. 237-240.

16) Експлуатація машин і обладнання : підручник / Іванишин В. В., Лабазюк П. П., Рудь А. В., Грушецький С. М. Заклад вищої освіти «Подільський державний університет». Кам'янець-Подільський : ТОВ «Друкарня «Рута», 2024. 576 с.

Analysis of methods and means of weed control

Sergii Hrushetskyi

Department of Agricultural Engineering and Systems Engineering named after Mykhailo Samokysh, Institution of Higher Education "Podilskyi State University", Kamianets-Podilskyi, Ukraine
ORCID 0000-0002-0487-6152

Vitaly Pukas

Department of Tractors, Automobiles and Power Equipment, Higher Education Institution "Podilskyi State University", Kamianets-Podilskyi, Ukraine
ORCID 0000-0002-0083-7359

Ivan Stratiy

Department of Agricultural Engineering and System Engineering named after Mykhailo Samokysh, Institute of Higher Education "Podilskyi State University", m. Kamianets-Podilskyi, Ukraine
ORCID 0000-0002-0487-6152

Abstract: The fight against weeds is an important element of agricultural technology, because weeds significantly affect the yield of agricultural crops, reduce the quality of products and worsen the ecological condition of the soil. There are various methods of weed control, which can be classified into mechanical, chemical, biological and agrotechnical. Mechanical methods include plowing, cultivation and mowing, which contribute to the physical destruction of weeds or stop their development. Chemical methods involve the use of herbicides, both contact and systemic, to destroy weeds at various stages of their development. Biological methods are based on the use of natural enemies of weeds, such as parasites or diseases, which reduce their numbers. Agricultural practices include crop rotation, mulching, and deep tillage to reduce weed growth. Successful weed control requires an integrated approach that combines several methods to achieve sustainable and cost-effective results.

Keywords: weeds, control methods, mechanical methods, chemical methods, herbicides, biological methods, agrotechnical methods, crop rotation, mulching, cultivation, plowing, mowing, contact herbicides, systemic herbicides, ecological efficiency.
