

УДК 631.1

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2025.55.257-272>

**В.І. Ветохін**, доц., д-р техн. наук, **Т.Ю. Рижкова**, **О.А. Ребенок**, здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти, **В.О. Заславець**, здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти, **А.О. Коренівський**, здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти

*Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна*

**В.В. Амосов**, доц., канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*  
*e-mail: v\_vas\_a@ukr.net*

## Розробка модульного ґрунтового міні-каналу для дослідження ротаційних знарядь: особливості конструкції

У статті викладені результати проектування та виготовлення малогабаритного ґрунтового каналу з урахуванням специфіки функціонування ротаційних знарядь. Враховано визначальний вплив кінематичного параметра на показники взаємодії ротаційного знаряддя та ґрунту. Особливістю конструкції є те, що посередником передачі руху в процесі експериментів є ґрунтова кювета, а привідний пас переставляється у зачеплення зі шківками різних діаметрів. Поєднання рухомих кювет і графічних екранів зі стаціонарним положенням ротора забезпечує простоту та наочність завдання різних значень кінематичного параметра, спостереження та фіксацію результату взаємодії ротора з модельним середовищем. Сфера практичного використання – наукові дослідження у галузі сільськогосподарського машинобудування та освітня діяльність в аграрних університетах.

**ґрунтовий канал, роторне знаряддя, кінематичний параметр, траєкторія, взаємодія ґрунт-знаряддя, обробіток ґрунту**

**Постановка проблеми.** Сучасні зміни технологічних, технічних та економічних чинників аграрного виробництва, що відбуваються, потребують відповідного удосконалення технічних засобів для сільського господарства. Результат наукових досліджень у галузі певним чином визначається оснащенням для проведення дослідів та експериментів. Крім стандартного оснащення існує потреба у спеціалізованому устаткуванні. Як база для проектування спеціалізованого устаткування необхідно попереднє наукове дослідження існуючої технічної бази та закономірностей процесів між робочим органом та оброблюваним середовищем.

Таким чином, проектування та виготовлення спеціалізованого експериментального устаткування у вигляді ґрунтового міні-каналу для дослідження ротаційних знарядь комплексна, важлива та актуальна задача.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розробка теоретичних моделей взаємодії знарядь з ґрунтом спирається на попереднє вивчення та перевірку моделей у реальних умовах, зокрема, у ґрунтових каналах. Так, у дослідженні [1] автори поєднують побудову математичної моделі стану ґрунту під впливом клина з експериментами у ґрунтовому каналі. Але дослідження стосується пасивних робочих органів.

Устаткування для вивчення робочих органів ротаційних машин на базі ґрунтового каналу представлено у монографії [2]. Устаткування оснащено системою керування, апаратурою для відеофіксації та запису сигналів датчиків. За допомогою

устаткування отримано значний обсяг експериментальних матеріалів, використаних при створенні фрезерних та тягово-привідних машин. Перевагою [2] є те, що в конструкцію закладена можливість встановлення кінематичного коефіцієнта. Невирішеним питанням є досягнення наочності кінематичного моделювання, а також складність та енергомісткість устаткування.

В дослідженні [3] запропоновано ґрунтовий канал, що містить обладнання для кондиціонування ґрунту, комп'ютерне обладнання керування рухом, реєстрація та аналіз даних. Узгоджувальний механізм поступального руху колеса та привода його обертання реалізувався апаратним методом. Недоліком устаткування є складність та ненаочність встановлення кінематичного параметра.

Дослідження [4] взаємодії ґрунту з увігнутим долотовидним зубом, включало проектування нового ґрунтового каналу, орієнтованого на досягнення миттєвого руху каретки. Перевагою дослідження [4] є те, що отримані результати руйнування ґрунту підтвердили теоретичну модель [5]. З'ясовано, що швидкість руху не мала істотного впливу на параметри дії робочого органа.

В роботі [6] розглядаються інструменти вимірювання та пристрої запису даних на базі ґрунтового каналу, що використовуються в дослідженні тягових пристроїв (колес та гусениць). Перевагою запропонованої конструкції є наявність ланцюгової передачі, що забезпечує узгодженість механізмів, а також уніфікована система збору даних для різних перетворювачів. Недоліком устаткування є громіздкість та значні витрати на конструкцію. Дослідження [6] наголошує на створенні інноваційних установок для вимірювання та реєстрації параметрів взаємодії робочих елементів з ґрунтом.

У дослідженні [7] в умовах ґрунтового каналу вивчався вплив коефіцієнта відношення швидкостей (velocity ratio) активно-пасивного ґрунтообробного знаряддя. Експерименти дозволили встановити показники оптимальних налаштувань системи з точки зору збільшення споживання енергії. Однак ґрунтовий канал, що використовувався, мав значні габарити, а обладнання – значне споживання електроенергії, що ускладнює його використання. В роботі [8] в польових умовах встановлено раціональне значення коефіцієнта відношення швидкостей відповідно до максимальної продуктивності обробки ґрунту з мінімальними витратами енергії активно-пасивної комбінованої дискової борони. Таким чином, підкреслено визначальний вплив коефіцієнта відношення швидкостей на витрати енергії.

У дослідженні [9] запропоновано розрахунковий метод, заснований на отриманих геометричних співвідношеннях між робочими параметрами роторної фрези для визначення висоти гребенів, що виникають у нижній частині шару оброблення ґрунту. Для отримання залежностей використовувалися аналітичні матеріали з роботи [10]. Теоретичні результати, викладені у зазначених роботах, потребують експериментальної перевірки.

З перелічених досліджень можна зробити висновок щодо важливості та впливовості параметра «співвідношення швидкостей», або «кінематичний коефіцієнт», на показники роботи ротаційного знаряддя.

Суттєву проблему використання відомого устаткування становить його складність, значна матеріало- та енергомісткість, та, як наслідок, висока вартість. Зазначене стримує поширення цього засобу досліджень.

Відносно специфіки вивчення роботи ротаційних знарядь недолік становить те, що вибір та фіксація кінематичних параметрів робочого органа, які впливають на енерговитрати та якість обробки ґрунту, складні та не вельми наочні.

Таким чином, ґрунтовий канал залишається сучасним засобом наукових

досліджень. Тенденцією розвитку ґрунтових каналів є насичення вимірною та фіксуною апаратурою. Технічні рішення механічної частини залишаються більш сталими, що пояснюється недостатнім теоретичним осмисленням особливостей дослідження ротаційних знарядь.

Варіантом подолання відповідних труднощів може бути розробка нового дослідницького устаткування, що реалізує теоретично обґрунтовані залежності. Саме такий підхід використаний в роботах [5, 11]. Однак робота [5] присвячена пасивним знаряддям, а дослідження [11] зосереджується на факторах, що впливають на показник гребенистості дна борозни. Базою вдосконалення може бути робота [1] з урахуванням рішень з роботи [10]. Все це дає підстави стверджувати, що доцільним є проведення дослідження та проектування устаткування з урахуванням специфіки ротаційних знарядь.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є розробка багатофункціонального компактного устаткування для експериментального дослідження робочих органів ротаційних ґрунтообробних знарядь. Це дасть можливість спростити та прискорити встановлення причино-наслідкових зв'язків між кінематичними параметрами робочого органа і борозни, що утворюється у ґрунті, та використати процес дослідження у тому числі для освітніх цілей.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

- дослідити конструкційно-технологічні особливості ґрунтових каналів, пов'язані зі специфікою дослідження ротаційних ґрунтообробних знарядь;
- проаналізувати механізм взаємодії ґрунту та голки ротаційного знаряддя;
- розробити проект ґрунтового міні-каналу, конструкція якого забезпечує задання кінематичних параметрів та графічне відображення руху ротаційних робочих органів.

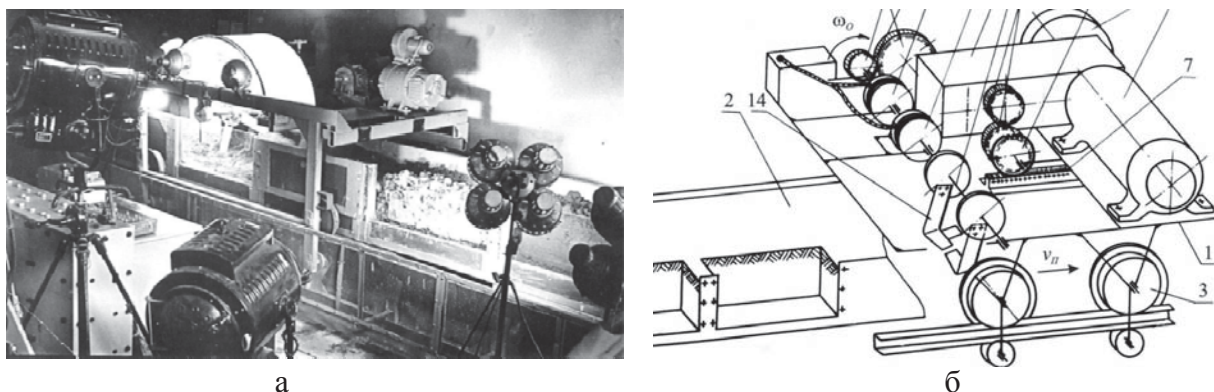
**Виклад основного матеріалу.** Об'єктом дослідження є ґрунтовий канал як спеціалізований засіб вивчення процесу взаємодії ротаційних робочих органів з ґрунтом.

Основною гіпотезою дослідження прийнято припущення, що удосконалення ґрунтового каналу для вивчення ротаційних знарядь має базуватися на особливостях процесу їх взаємодії з ґрунтом. Припущено, що для безприводних робочих органів особливість становить те, що реальний радіус кочення не дорівнює відстані від осі обертання до кінця голки, та зменшується у процесі роботи внаслідок налипання ґрунту.

Вивчення конструкційно-технологічних особливостей ґрунтових каналів проводилось на натурних зразках (рис. 1), на основі аналізу літературних джерел та технічної документації.

Привід установки (рис. 1) здійснювався двигуном постійного струму, що надавало можливість безступінчасто змінювати швидкість руху та обертання ротора у широкому діапазоні. Установка має систему керування моментом запуску та зупинки ротора. Ґрунтообробний робочий орган приводиться в обертання в різні моменти руху візка вздовж бункера з ґрунтом. Пуск та гальмування робочого органа здійснюється електромагнітними муфтами. Роботою електромагнітних муфт управляють шляхові вимикачі, розташовані вздовж шляху руху візка. З метою фіксації результату дії експериментального робочого органа на ґрунт одна зі стінок бункера з ґрунтом виконана прозорою, а установка оснащена обладнанням для швидкісної кінозйомки.

Узгоджувальний механізм, що координував поступальний рух візка та обертання ротора, містить зубчасту рейку, систему зубчастих коліс та коробку передач.



а – загальний вигляд установки; б – принципова схема

Рисунок 1 – Експериментальна установка для дослідження кінематичних та енергетичних характеристик ротаційних ґрунтообробних машин

Джерело: [2]

Експериментальна установка [3] з ґрунтовим каналом містить обладнання для кондиціонування ґрунту, комп'ютерні компоненти керування рухом, вимірювання, реєстрації та аналізу даних. Установка складна механічно та насичена електронною апаратурою. На відміну від установки, що зображено на рис. 1, узгоджувальний механізм поступального руху колеса вздовж поверхні ґрунту та привода обертання колеса реалізувався апаратним методом.

Відомий ґрунтовий канал [6], з тестером для одинарного колеса та обладнанням для вимірювання взаємодії шини з ґрунтом, значний за розміром, що звісно потребує відповідних приміщення та капіталовкладень. Канал обладнаний різноманітною апаратурою. Каретка приводиться до руху ланцюговою передачею, що забезпечує рух на довжину декілька метрів.

Встановлено, що суттєвою особливістю ґрунтових каналів для вивчення ротаційних робочих органів, на відміну від устаткування для дослідження пасивних робочих органів, є присутність пристроїв узгодження повздовжнього руху та обертання робочого органа навколо осі. Такі пристрої реалізовані у вигляді багатоступінчастих механічних передач або складного програмно-апаратного забезпечення. Недоліком існуючих каналів є значна матеріало- та енергомісткість, що обмежує їх використання, у тому числі для освітніх цілей.

Метою польового етапу стало вивчення у реальних умовах роботи ротаційних голчастих знарядь. Необхідно було встановити фактори, що найбільше впливають на параметри обробки ґрунту та утворення борозни. Для дослідження використовувалося ротаційне голчасте знаряддя, що призначено для внесення рідкої речовини до кореневої системи культур. Знаряддя складається з голок на маточині, що через підшипниковий вузол та кронштейн кріпиться на брусі начіпного пристрою трактора (рис. 2, а).

В процесі роботи голка ротаційного знаряддя виконує поступально-обертальний рух за рахунок зчеплення з масивом ґрунту. Внаслідок мінливості стану ґрунту, та, відповідно, його щільності, вологості, складу, змінюється співвідношення швидкості поступального та обертального рухів.

До факторів, що впливають на якість обробки ґрунтового покриву, віднесено лінійну швидкість поступального руху знаряддя та кутову швидкість обертального руху диска з голками. Під якістю обробки ґрунту вважатимемо розміри утворених лунок та наявність інших змін навколо них. Проводились також вимірювання щільності та вологості ґрунту. Слід зазначити, що для знарядь такого типу, утворення значної борозни не є позитивним явищем.



а



б



в

а – загальний вигляд установки; б – ефект налипання ґрунту на голки; в – вигляд лунок у ґрунті

Рисунок 2 – Дослідження роботи ротаційного голчастого знаряддя в польових умовах

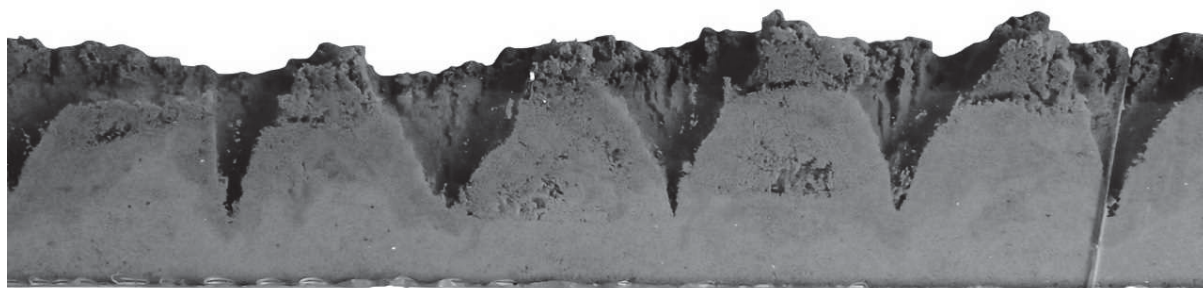
*Джерело: розроблено авторами*

Встановлено, що при роботі знаряддя протягом однієї години, з лінійною швидкістю в діапазоні  $3,5 \div 6$  км/год., глибина лунки зменшується в середньому на 27 % від глибини на початку роботи. При цьому стан ґрунту (вологості та щільності) залишався незмінним.

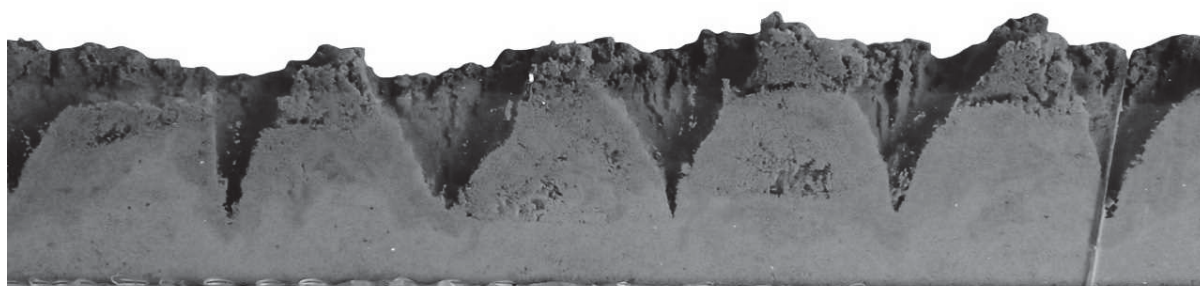
Як відомо з літератури, для ротаційних знарядь розрізняють три кінематичних режими обертання: – пригальмоване; – вільне; – пришвидшене.

В результаті польових спостережень встановлено, що кінематичні характеристики робочого органа ротаційного ґрунтообробного знаряддя мають змінний характер. При зростанні швидкості поступального руху знаряддя вище деякого значення виникає явище кочення робочого органа з пришвидшеним обертанням. Режим кочення з пришвидшеним обертанням спостерігається також внаслідок налипання ґрунту на голки, тобто зі зменшенням реального радіуса кочення ґрунтообробного робочого органа. Як наслідок, спостерігається динамічний винос ґрунту кінцями голок робочого органа ротаційного голчастого знаряддя на поверхню поля (рис. 2, в).

Вивчення руху голчастого знаряддя в ґрунтовому каналі (рис. 3), показало, що спостерігається проколювання ґрунту з провертанням голки та подальшим вивертанням нею частини ґрунту з глибини шару. Фотофіксацією відмічено насипи з ґрунту невеликого розміру (рис. 3, б), що утворюються після проходження робочого органа. Насипи розміщуються на протилежному, від напряму поступального руху ротаційного знаряддя, боці лунки.



а



б

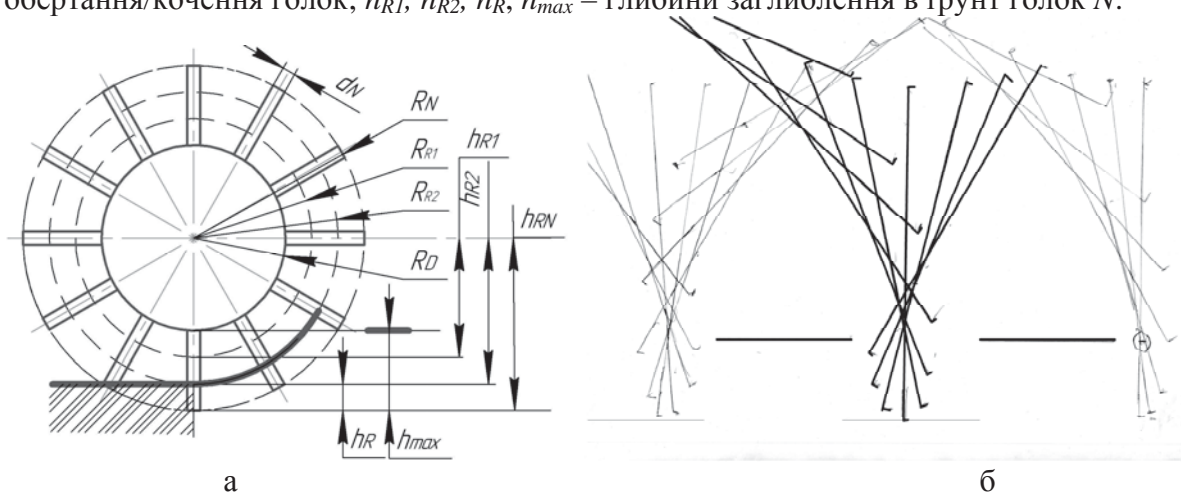
а – вигляд обробленого шару ґрунту; б – вид викиду ґрунту на денну поверхню

Рисунок 3 – Вигляд шару ґрунту після проходу макету ротaційного голчастого зняряддя в ґрунтовому каналі

Джерело: розроблено авторами

Графічно-кінематичне моделювання проводилось з використанням макету голчастого ротaційного робочого органа. Макет приводився до руху пласким ремнем, який утримувався навкруги сектора певного радіуса. Плаский ремінь приєднано до графічного планшета, який здійснював поздовжній рух відносно робочого органа.

За матеріалами попередніх досліджень [12] розроблена та використана система наступних геометричних параметрів робочого органа (рис. 4):  $d_N$  – діаметр голки  $N$ ;  $R_N$  – зовнішній радіус голчастого колеса;  $R_{R1}$ ;  $R_{R2}$ ;  $R_D$  – відповідно проміжні радіуси обертання/кочення голок;  $h_{R1}$ ,  $h_{R2}$ ,  $h_R$ ,  $h_{max}$  – глибини заглиблення в ґрунт голок  $N$ .



а

б

а – схема параметрів; б – графічні дані

Рисунок 4 – Графічно-кінематичне моделювання роботи ротaційного голчастого робочого органа

Джерело: розроблено авторами

Декілька послідовних положень траєкторії руху поверхні голки окреслювалися на аркушах паперу. Наведений на рис. 4, б приклад відповідає випадку, коли радіус обертання/кочення голчастого диска дорівнює радіусу  $R_{R2}$

Аналіз механізму взаємодії ґрунту та голки ротаційного знаряддя показав наступне. Під час робочого процесу відбувається складний рух кожної голки відносно оброблюваного шару ґрунту, а саме, поступальний рух відносно поверхні поля та обертання. Обертальний рух голки також має дві складові: обертання відносно точки, що збігається з віссю центрального диска та обертання/провертання навколо іншої точки, що розташована у товщі шару ґрунту. Опір ґрунту виникає внаслідок занурення голки, а також вище та нижче точки повертання голки в ґрунті. Положення цієї точки визначається рівновагою сил опору ґрунту, та впливає на реальний радіус обертання ротаційного знаряддя при коченні по ґрунту.

Введення в аналіз рівноваги системи поняття «точка повертання голки» та миттєвого центра обертання голки у шарі ґрунту дозволяє пояснити походження явища викидання ґрунту на поверхню поля.

Аналіз дозволив поділити робочу частину голки щонайменше на три функціональні частини:

- верхня зона робочої поверхні спрямована в напрямку руху знаряддя;
- нижня зона робочої поверхні голки;
- зона поділу робочої поверхні, так звана точка повертання голки.

Для проектування ґрунтового міні-каналу за прототип взято устаткування (рис. 1). Устаткування для експериментального вивчення ротаційних ґрунтообробних знарядь містить раму, напрямні, бункер з ґрунтом, обертовий робочий орган, встановлений на валу, з можливістю повздовжнього переміщення відносно поверхні ґрунту, ведучий ротор, та привод. Ведучий ротор кінематично зв'язано з повздовжнім переміщенням робочого органа [2].

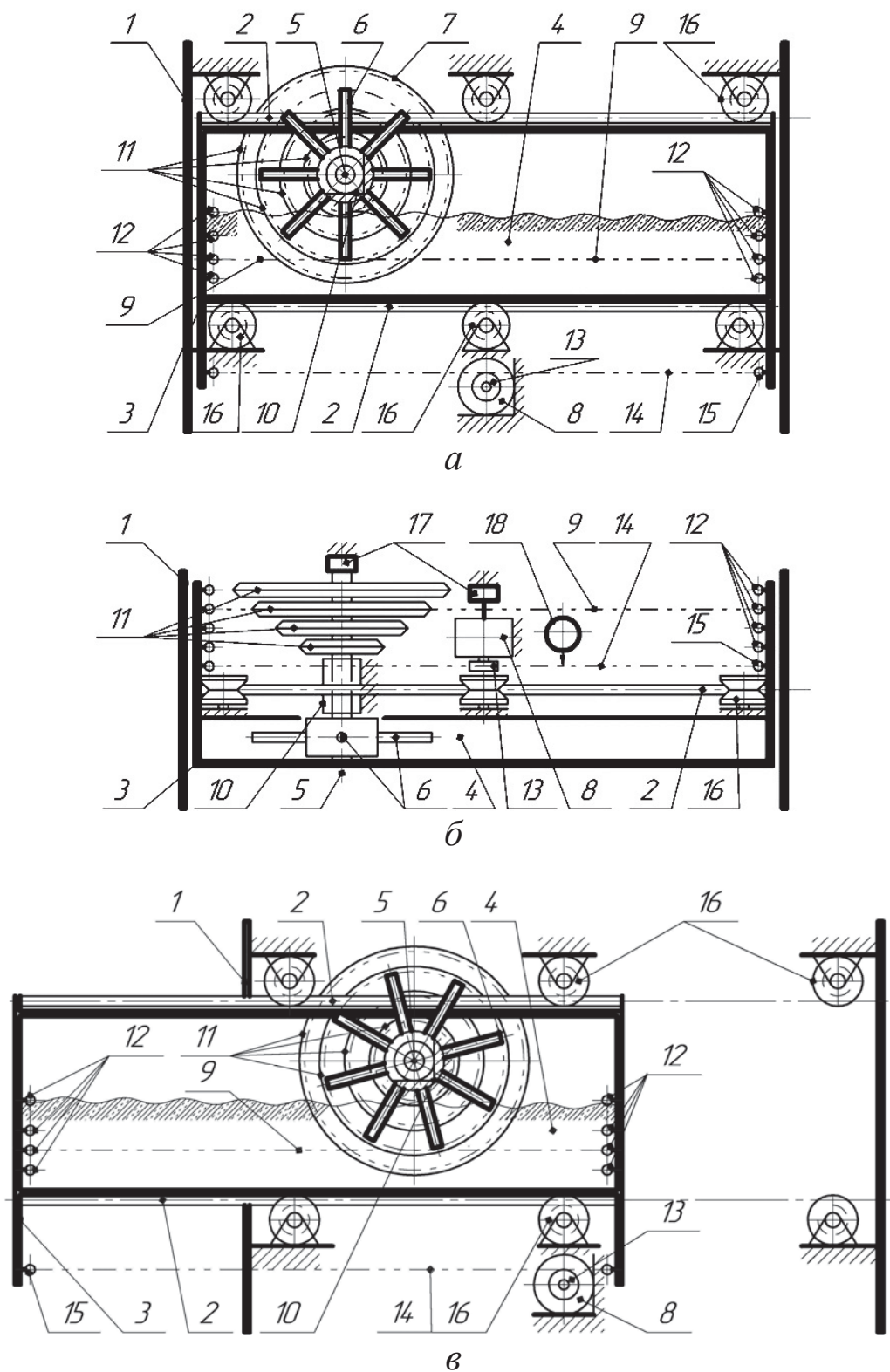
Технічною задачею поставлено спрощення встановлення кінематичних параметрів обертання ротаційного ґрунтообробного знаряддя у ході експерименту, забезпечення наочності такого встановлення, полегшення вивчення результату дії ґрунтообробного робочого органа на ґрунт, що важливо, також, у освітньому процесі.

Спроековано устаткування для експериментального вивчення ротаційних ґрунтообробних знарядь (рис. 5–8).

Устаткування складається з рами 1, напрямних 2, бункера 3 з ґрунтом 4, встановлений на валу 5, обертовий ґрунтообробний робочий орган 6, ведучий ротор 7, та привід 8. Ведучий ротор 7 кінематично зв'язано з повздовжнім переміщенням бункера 3 пасом 9. Повздовжнє переміщення робочого органа 6, відносно поверхні ґрунту 4, реалізовано за рахунок рухомого бункера 3 з ґрунтом 4.

Опора 10 вала 5 обертання робочого органа 6 закріплена нерухомо відносно рами 1, а бункер 3 з ґрунтом 4 встановлено з можливістю примусового руху за допомогою привода 8 по напрямним 2. Ведучий ротор 7 виконано у вигляді шківів 11 різного діаметра з можливістю з'єднання з бункером 3 пасом 9 у точках приєднання 12. При дослідженні деяких режимів пас 9 від'єднано від бункера 3.

Привід 8 через шків 13 приєднано пасом 14 до бункера 3 у точках кріплення 15. Опорні ролики 16 мають V-подібний профіль, закріплені на рамі 1, та входять в зачеплення з напрямними 2. Для контролю швидкості обертання ротора 7 та шківів 14 привода 8 установка включає датчики кутового 17 та лінійного 18 переміщення.



а – вид спереду; б – вид зверху; в – вигляд устаткування з переміщеним вліво бункером з ґрунтом;  
 1 – рама, 2 – напрямні, 3 – бункер, 4 – ґрунт, 5 – вал, 6 – обертовий ґрунтообробний робочий орган,  
 7 – ведучий ротор, 8 – привід, 9 – пас, 10 – опора, 11 – шків, 12 – точки приєднання паса, 13 – шків,  
 14 – пас, 15 – точки кріплення паса, 16 – опорні ролики, 17 – датчики кутового переміщення,  
 18 – датчик лінійного переміщення

Рисунок 5 – Схематичний вигляд устаткування

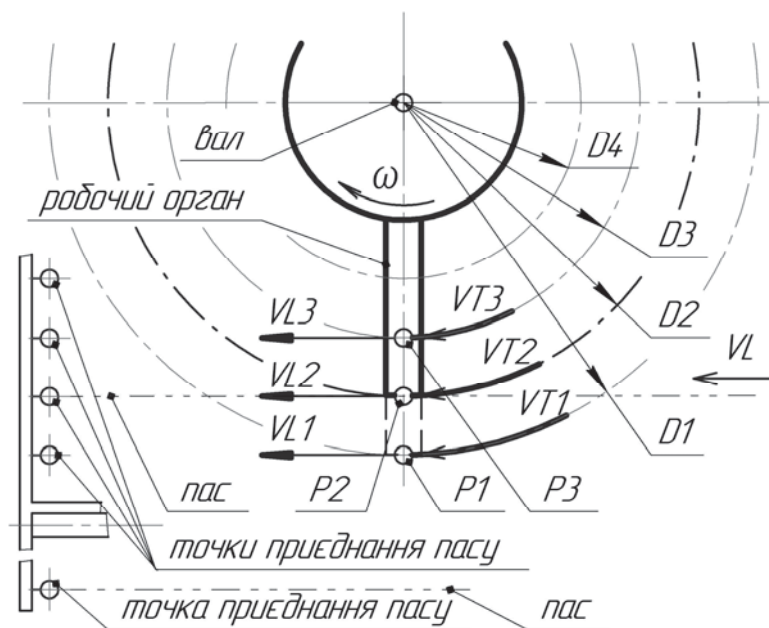
Джерело: розроблено авторами

У конкретному конструктивному виконанні у якості пасів 9 та 14 може бути використано стандартні роликівий ланцюг або зубчастий ремінь. Відповідний профіль мають шківів 11 та 13.

Бункер 3 має декілька точок приєднання 12 паса 9 відповідно до діаметра шківів 11. При дослідженні режиму вільного кочення робочого органа 6 по ґрунту 4 пас 9 від'єднано від точок приєднання 12 та знято з установки.

При роботі обладнання для експериментального вивчення ротаційних ґрунтообробних знарядь бункер 3 з ґрунтом 4 приводиться у рух приводом 8 завдяки приєднанню до бункера 3 паса 14 та його зчеплення зі шківом 13. Завдяки кінематичному зв'язку бункера 3 та ротора 7 за допомогою паса 9, повздовжнє переміщення бункера 3 призводить до примусового обертання ротора 7.

Встановлені на загальному валу 5, привідний ротор 7 та робочий орган 6 обертаються з однаковою кутовою швидкістю  $\omega$ . Повздовжнє переміщення  $L$  робочого органа 6 відносно ґрунту 4, з одночасним обертанням робочого органа 6, призводить до утворення у ґрунті 4 борозни певної форми та параметрів. Параметри борозни та розпушення ґрунту 4 залежать від співвідношення швидкості  $VL$  повздовжнього лінійного переміщення  $L$  бункера 3, і відповідно ґрунту 4, та тангенціальної швидкості  $VT$  точок  $P$  робочого органа 6 (рис. 6).



$D1, D2, D3, D4$  – діаметри шківів,  $VL$  – напрямок лінійній швидкості осі робочого органа,  $\omega$  – напрямок кутової швидкості,  $VT1, VT2, VT3$  – тангенціальна швидкість точок,  $P1, P2, P3$  – точки робочого органа,  $VL1, VL2, VL3$  – лінійна швидкість точок

Рисунок 6 – Схема швидкостей обертання та лінійного переміщення умовних точок ґрунту та робочого органа

Джерело: розроблено авторами

У ході експерименту пас 9 може бути переставлено по точкам приєднання 12, та відповідно входить у зачеплення зі шківями 11 різного діаметра  $D1, D2, D3, D4$ . Пас 9 також може бути знятий з устаткування. Таким чином, при однаковій лінійній швидкості  $VL$  повздовжнього переміщення ґрунту 4 у бункері 3, робочий орган 6 може обертатися з різною кутовою швидкістю  $\omega$ .

При певній кутовій швидкості  $\omega$  точки  $P1, P2, P3$  робочого органа 6 рухаються з

різною тангенціальною швидкістю  $VT$ , відповідно  $VT1$ ,  $VT2$ ,  $VT3$ . У варіанті зачеплення паса 9 зі шківом 13 діаметра  $D2$  тангенціальна  $VT$  та лінійна  $VL$  швидкості точки  $P2$  співпадають між собою, тобто  $VT2=VL2$ . Для такого варіанту кінематичний параметр  $\lambda$  дорівнює одиниці,  $\lambda=1$ .

Для точок  $P1$  і  $P3$  робочого органа 6 та ґрунту 4 має місце співвідношення тангенціальної швидкості  $VT$  та лінійної швидкості  $VL$ , відповідно  $VT1>VL1$ ,  $VT3<VL3$ . Тобто у точці  $P1$  має місце так зване пришвидшене обертання, а у точці  $P3$  пригальмоване обертання, що відповідає різному значенню кінематичного параметра  $\lambda$ . Таким чином, моделюються три режими взаємодії робочого органа 6 з ґрунтом 4:

- вільне кочення ( $\lambda=1$ );
- пришвидшене обертання ( $\lambda>1$ );
- пригальмоване обертання ( $\lambda<1$ ).

При дослідженні у режимі вільного кочення пас 9 знімається з устаткування. Бункер 3 приводиться у рух приводом 8, робочий орган 6 обертається за рахунок зчеплення з ґрунтом 4.

На вал 5 устаткування можуть бути встановлені робочі органи 6 ротаційних знарядь різного типу. Наприклад, типів фрези, голчастих коліс, зубчастої ротаційної борони, гладкого диска та інші. У ході експериментального вивчення фіксується форма та інші параметри борозни у ґрунті 4.

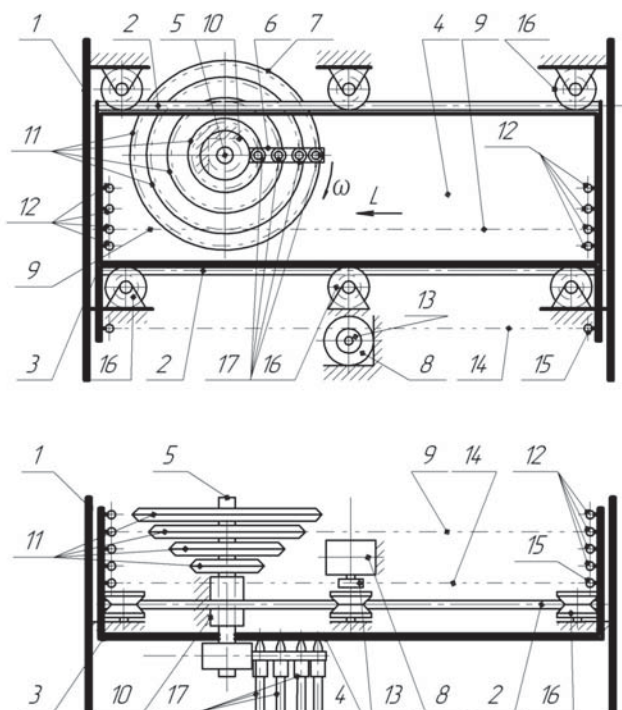
В режимі графічного моделювання устаткування оснащується графічним екраном (рис. 7).

При роботі устаткування у режимі графічного моделювання роботи ротаційних ґрунтообробних знарядь, візок 3 з екраном 4 приводиться до руху приводом 8 завдяки приєднанню до візка 3 паса 14 та його зчеплення зі шківом 13.

Завдяки кінематичному зв'язку візка 3 та ротора 7 за допомогою паса 9, повздовжнє переміщення візка 3 у напрямку  $L$  призводить до примусового обертання ротора 7 у напрямку  $\omega$ . Встановлені на загальному валу 5, привідний ротор 7 та робочий орган 6 обертаються з однаковим кутовим переміщенням. Таким чином, одночасно відбувається обертання робочого органа 6 та повздовжнє переміщення  $L$  екрана 4 відносно робочого органа 6. Контакт екрана 4 та набору самописців 17 призводить до утворення на екрані 4 зображення сукупності ліній  $n$ ,  $m$ ,  $l$ ,  $k$ , відповідно траєкторій руху окремих точок  $p1$ ,  $p2$ ,  $p3$ ,  $p4$  робочого органа 6 (рис. 8).

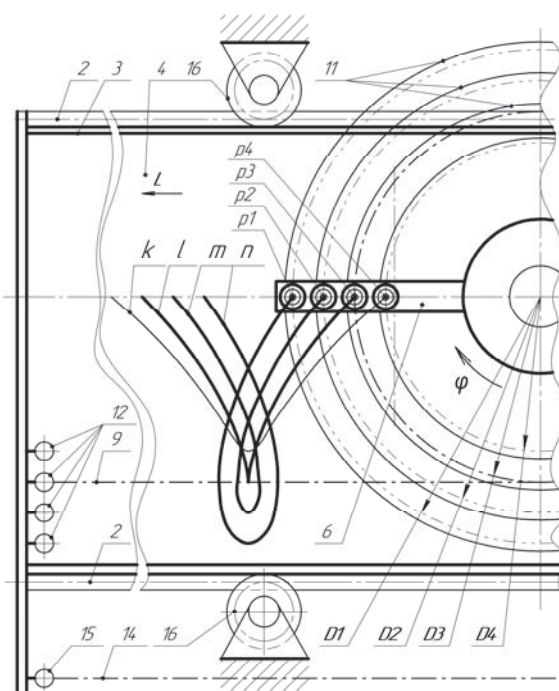
Форма та параметри ліній залежать від співвідношення повздовжнього лінійного переміщення  $L$  візка 3 та кутового переміщення  $\varphi$  точок  $p1$ ,  $p2$ ,  $p3$ ,  $p4$  моделі робочого органа 6 відносно екрану 4. Значення згаданого співвідношення визначає значення кінематичного параметра  $\lambda$ . Кінематичний параметр  $\lambda$  змінюється перестановкою паса 9 у зачеплення зі шківом 11 різного діаметра  $D$ . Така перестановка при однаковому лінійному переміщенні візка 3 забезпечує різне кутове обертання робочого органа 6.

У ході моделювання пас 9 може бути переставлено по точкам приєднання 12, та відповідно входить у зачеплення зі шківом 11 різного діаметра  $D1$ ,  $D2$ ,  $D3$ ,  $D4$ . Робочий орган 6 звершує обертання з кутовим переміщенням  $\varphi$  та повздовжнім переміщенням  $L$  відповідно різним довжинам кіл діаметрів  $D1$ ,  $D2$ ,  $D3$ ,  $D4$ . Зображення на рис. 12 відповідає зчепленню паса 9 зі шківом 11 діаметра  $D3$  та обертанню моделі робочого органа 6 на півоберта, тобто кутове переміщення  $\varphi=\pi$ .



1 – рама; 2 – напрямні; 3 – бункер; 4 – графічний екран; 5 – вал; 6 – обертовий ґрунтообробний робочий орган; 7 – ведучий ротор; 8 – привід; 9 – пас; 10 – опора; 11 – шків; 12 – точки приєднання паса; 13 – шків; 14 – пас; 15 – точки кріплення паса; 16 – опорні ролики; 17 – самописці

Рисунок 7 – Схематичний вигляд устаткування в режимі графічного моделювання  
Джерело: розроблено авторами



$p1, p2, p3, p4$  – точки робочого органа,  $n, m, l, k$  – траєкторії руху точок,  $p1, p2, p3, p4$  – напрямки обертання,  $D1, D2, D3, D4$  – діаметри обертання точок,  $\varphi$  – напрям кутового переміщення,  $L$  – напрям повздовжнього переміщення

Рисунок 8 – Схематичне зображення фрагмента устаткування з графічним зображенням сліду самописців на екрані  
Джерело: розроблено авторами

Точки  $p1$ ,  $p2$  звершують пришвидшене обертання ( $\lambda > 1$ ), та утворюють траєкторії, що фіксуються самописцями 17 на екрані 4 як лінії  $n$ ,  $m$ .

Точка  $p3$  звершує рух з кінематичним параметром  $\lambda = 1$ , та утворює траєкторію, що фіксується самописцем 17 як лінія  $l$ .

Точка  $p4$  звершує пригальмоване обертання ( $\lambda < 1$ ), та утворює траєкторію, що фіксується самописцем 17 на екрані 4 як лінія  $k$ .

Таким чином, конструкція устаткування, що спроектовано, забезпечує моделювання при різних співвідношеннях повздовжнього руху та обертання робочого органа, тобто при різних значеннях кінематичного параметра  $\lambda$ , що задається дослідником у процесі моделювання.

Фіксація траєкторій руху різних точок робочого органа забезпечується набором самописців 17, встановлених на моделі робочого органа 6, та їх взаємодією з екраном 4.

Спрощення моделювання руху різних точок робочого органа при різних кінематичних параметрах обертання ротаційного ґрунтообробного знаряддя забезпечується простотою перестановки паса 9 у зачеплення зі шківками 11 різного діаметра  $D$ .

Полегшення вивчення результату дії робочого органа забезпечується можливістю візуального спостереження та оцінки траєкторій руху точок ротаційного робочого органа 6 при різних значеннях кінематичного параметра, одночасно з графічною фіксацією траєкторій на екрані 4 самописцями 17. Отримана на екрані 4 графічна інформація придатна для подальшого вивчення без додаткової обробки, але за необхідності може бути оброблена кількісними методами. Така візуалізація важлива як для вченого-дослідника, так і у навчальному процесі закладах освіти.

Полегшення вивчення результату дії робочого органа досягається тим, що ротаційний робочий орган не рухається вздовж рами і відповідно відносно спостерігача.

За матеріалами викладеного дослідження, з використанням матеріалу дослідження [13] виготовлено модульний ґрунтовий міні-канал (рис. 9–11). Одним з принципів взято максимальне використання доступних у виробництві та на ринку механічних та електронних компонентів. Наступною задачею повстало узгодження механічних та електронних характеристик компонентів.

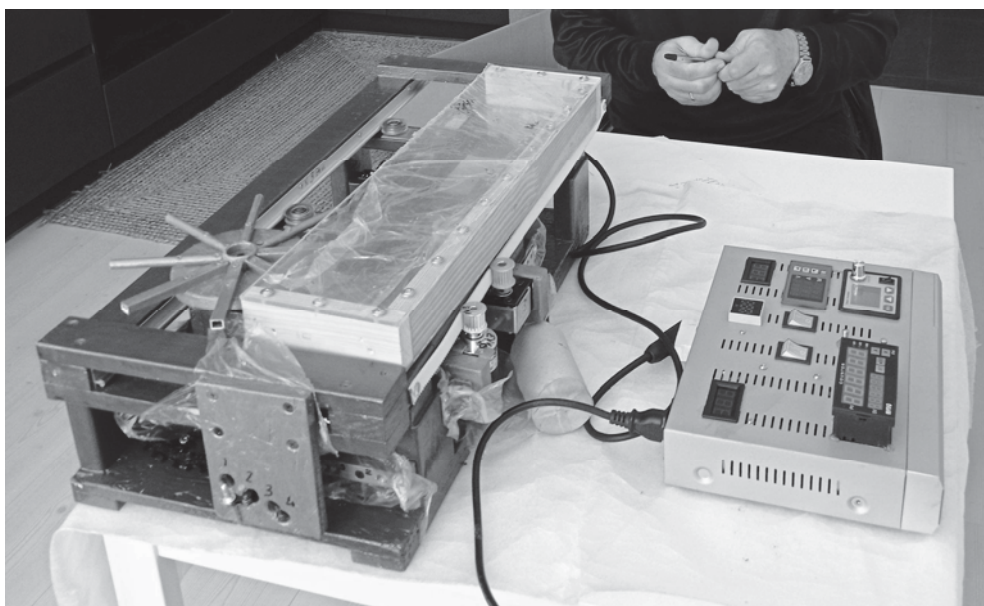
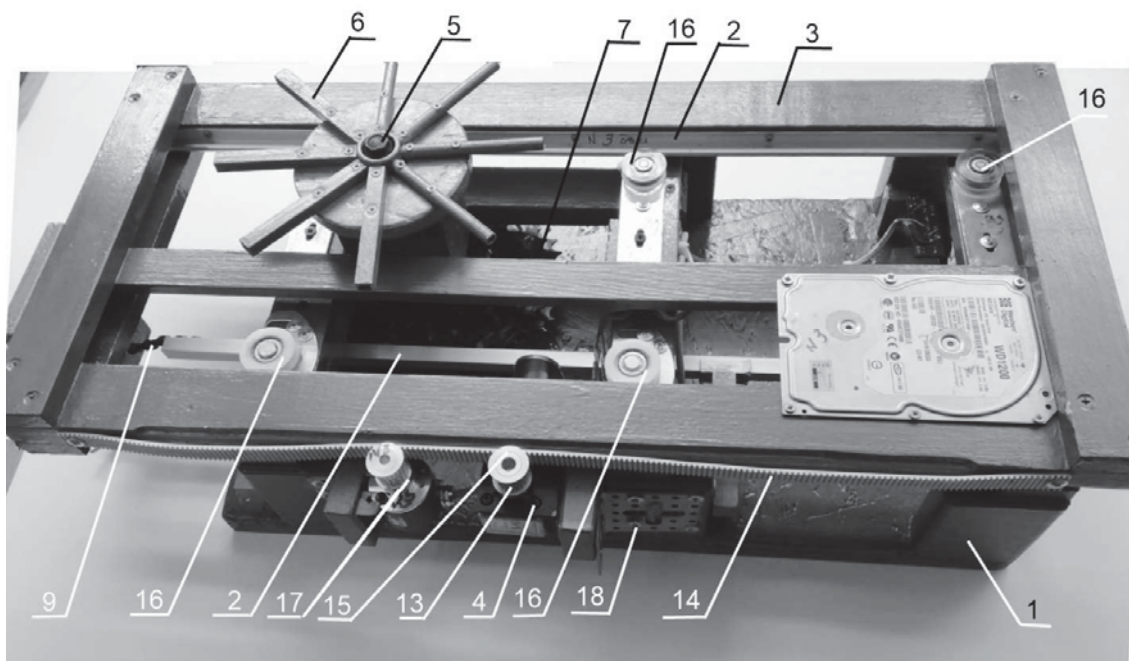


Рисунок 9 – Загальний вигляд розробленого ґрунтового каналу

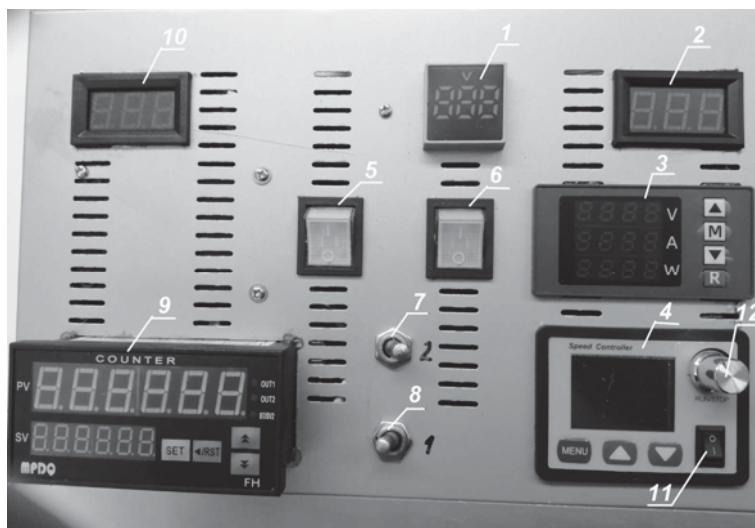
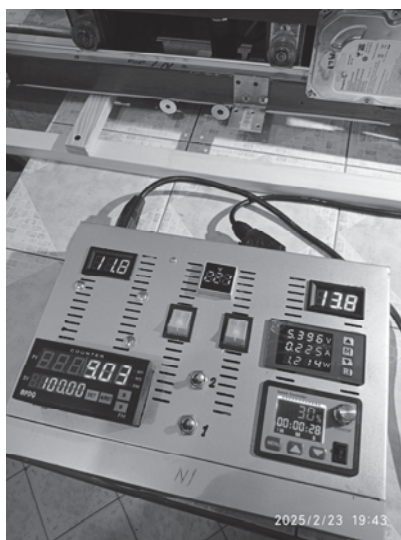
*Джерело: розроблено авторами*



1 – рама; 2 – напрямна; 3 – візок; 4 – електропривод; 5 – вал ротора; 6 – макет робочого органу; 7 – блок ведучих зірочок; 8 – привод; 9 – ланцюг; 10 – кронштейн опорних роликів; 11 – зубчастий шків; 12 – точки приєднання ланцюга; 13 – шестерня електропривода; 14 – зубчастий пас; 15 – точки кріплення ланцюга; 16 – опорні ролики; 17 – лічильник імпульсів; 18 – кронштейн електропривода

Рисунок 10 – Загальний вигляд розробленого ґрунтового каналу (ґрунтова кювета або графічний екран – не встановлені)

Джерело: розроблено авторами



1 – індикатор сітьової напруги; 2 – індикатор живлення приводу візка; 3 – комплексний індикатор напруги, струму та потужності живлення приводу; 4 – регулятор електричного струму живлення приводу (контролер двигуна приводу візка); 5 – тумблер включення живлення лічильника імпульсів; 6 – тумблер включення живлення приводу візка; 7 – резервний тумблер; 8 – тумблер переключення режимів приводу візка; 9 – лічильник імпульсів енкодера; 10 – індикатор живлення лічильника; 11 – тумблер включення регулятора електричного струму живлення приводу; 12 – кнопка регулятора живлення приводу

Рисунок 11 – Загальний вигляд пульта керування ґрунтового каналу

Джерело: розроблено авторами

У подальших дослідженнях слід зосередити увагу на уточненні кінематичних характеристик робочого органа ротаційного ґрунтообробного знаряддя, які виникають у процесі налипання ґрунту на голки ротаційного робочого органа. Це дозволить провести кількісну оцінку діючих сил у системі голка-ґрунт та запропонувати ефективні методи щодо зменшення явища викидання ґрунту на поверхню поля.

Розробка впроваджена в навчальний процес Полтавського державного аграрного університету та Центральноукраїнського національного технічного університету.

**Висновки.** Ґрунтові канали, призначені для дослідження ротаційних ґрунтообробних знарядь, містять механізми узгодження повздовжнього руху та обертання робочого органу. Такі механізми конструктивно виконані як ланцюгові передачі або набори зубчастих передач для перемикання швидкостей, що не завжди забезпечує наочність та простоту встановлення кінематичних параметрів.

Дослідження у польових та лабораторних умовах роботи ротаційних голчастих знарядь підтвердило визначальний вплив кінематичного коефіцієнта на характер взаємодії з ґрунтом та показники роботи ротаційного знаряддя. Робота в режимі пришвидшеного обертання призводить до негативного явища виносу на поверхню поля часток ґрунту.

Теоретичний аналіз механізму взаємодії ґрунту та голки ротаційного знаряддя дозволив пояснити походження явища виносу часток ґрунту на поверхню поля, відмічене у лабораторних та польових умовах. Результати аналізу покладено в основу проєктування модульного ґрунтового міні-каналу для дослідження ротаційних знарядь.

Спроєктовано та виготовлено ґрунтовий міні-канал, що забезпечує під час досліджень завдання кінематичних параметрів та графічне відображення руху ротаційних робочих органів. В конструкцію закладена можливість узгодження швидкостей обертання та лінійного переміщення точок ґрунту та робочого органу за вибором дослідника. Завдяки невеликим розмірам та простоті ґрунтового каналу полегшується його використання у наукових дослідженнях та освітньому процесі.

## Список літератури

1. Kornienko, S., Pascenco, V., Melnik, V., Kharchenko, S., Khramov, N. Developing the method of constructing mathematical models of soil condition under the action of a wedge. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologic*. 2016. 5/7 (83), 34–43. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.79912>
2. Ветохін, В.І., Панов, І.М., Шмонин, В.А., Юзбашев, В.А. Тягово-приводні комбіновані ґрунтообробні машини: Теорія, розрахунок, результати випробувань : монографія. Київ: ФЕНІКС, 2009. 264с. Available at: <https://dspace.pdau.edu.ua/handle/123456789/15056>
3. Roozbahani, A., Mardani, A., Jokar, R., Taghavifar, H. (2013). Evaluating and measuring the performance parameters of agricultural wheels. *Int. J. Agricultural and Biosystems Engineering*, 7 (2), 158–162. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1326793>
4. Lajani, A., Nikbakht, A. M., Askari, M., Salar, M. R. (2024). Design, construction and evaluation of a miniature soil bin plus predicting the measured parameters during primary tests using ANFIS. *Heliyon*, 10, 1, e24041. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24041>
5. Godwin, R. J., Spoor, G. (1977). Soil Failure with Narrow Tines. *Journal of Agricultural Engineering*, 22, 213–228. [http://dx.doi.org/10.1016/0021-8634\(77\)90044-0](http://dx.doi.org/10.1016/0021-8634(77)90044-0)
6. Mardani, A., Golanbari, B. (2024). Indoor measurement and analysis on soil-traction device interaction using a soil bin. *Scientific Reports*, 14, 10077. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59800-2>
7. Upadhyay, G. Raheman H. (2018). Performance of combined offset disc harrow (front active and rear

- passive set configuration) in soil bin. *Journal of Terramechanics*, 78, 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2018.04.002>
8. Upadhyay, G., Raheman, H. (2020). Effect of Velocity Ratio on Performance Characteristics of an Active-Passive Combination Tillage Implement. *Biosystems Engineering*, 191, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.12.010>
  9. Celik, A., Ozturk, I., Way, T.R. (2008). A theoretical approach for determining irregularities of the bottom of the tillage layer caused by horizontal axis rotary tillers. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*, 10, 1–9. Available at: <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/1168>
  10. Hendrick, J.G., Gill, W.R. (1971). Rotary-tiller design parameters: Part II. Depth of tillage. *Transactions of the ASAE*, 14(4), 675–678. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.38365>
  11. Ozoemena, A. Ani, Uzoejinwa, B.B., Ezeama, A.O., Onwualu, A.P., Ugwu, S.N., Ohagwu, C.J. (2018). Overview of soil-machine interaction studies in soil bins. *Soil and Tillage Research*, 175, 13–27. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.08.002>
  12. Ветохін, В., Негребецький, І., Рижкова, Т., Сало, Я., Вознюк Т. (2021). Аналітичний огляд технічних рішень голчастих ротаційних знарядь для внесення рідких добрив в шар ґрунту. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*, №29(43), С.95–107. [http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2021-1-29\(43\)-9](http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2021-1-29(43)-9)
  13. Vetokhin, V., Popov, S., Ryzhkova, T., Negrebetskyi, I., Leshchenko, S., Amosov, V., Machok, Y., & Petrenko, D. (2024). Improving the soil bin for studying rotary tools taking into account the kinematic features of interaction with the soil. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(1 (132)), 31–40. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.315127>

## References

1. Kornienko, S., Pascenco, V., Melnik, V., Kharchenko, S., & Khramov, N. (2016). Developing the method of constructing mathematical models of soil condition under the action of a wedge. *Eastern-European Journal of Enterprise Technology*, 5/7 (83), 34–43. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.79912>
2. Vetokhin, V.I., Panov, I.M., Shmonin, V.A., & Yuzbashev, V.A. (2009). Traction-driven combined tillage machines: Theory, calculation, test results. Kyiv: PHOENIX, 264. URL: <https://dspace.pdau.edu.ua/handle/123456789/15056>
3. Roozbahani, A., Mardani, A., Jekar, R., Taghavifar, H. (2013). Evaluating and measuring the performance parameters of agricultural wheels. *Int. J. Agricultural and Biosystems Engineering*, 7 (2), 158–162. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1326793>
4. Lajani, A., Nikbakht, A. M., Askari, M., & Salar, M. R. (2024). Design, construction and evaluation of a miniature soil bin plus predicting the measured parameters during primary tests using ANFIS. *Heliyon*, 10, 1, e24041. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24041>
5. Godwin, R. J., Spoor, G. (1977). Soil Failure with Narrow Tines. *Journal of Agricultural Engineering*, 22, 213–228. [http://dx.doi.org/10.1016/0021-8634\(77\)90044-0](http://dx.doi.org/10.1016/0021-8634(77)90044-0)
6. Mardani, A., & Golanbari, B. (2024). Indoor measurement and analysis on soil-traction device interaction using a soil bin. *Scientific Reports*, 14, 10077. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59800-2>
7. Upadhyay, G., & Raheman, H. (2018). Performance of combined offset disc harrow (front active and rear passive set configuration) in soil bin. *Journal of Terramechanics*, 78, 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2018.04.002>
8. Upadhyay, G., & Raheman, H. (2020). Effect of Velocity Ratio on Performance Characteristics of an Active-Passive Combination Tillage Implement. *Biosystems Engineering*, 191, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.12.010>
9. Celik, A., Ozturk, I., & Way, T.R. (2008). A theoretical approach for determining irregularities of the bottom of the tillage layer caused by horizontal axis rotary tillers. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*, 10, 1–9. Available at: <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/1168>
10. Hendrick, J.G., & Gill, W.R. (1971). Rotary-tiller design parameters: Part II. Depth of tillage. *Transactions of the ASAE*, 14(4), 675–678. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.38365>
11. Ozoemena, A. Ani, Uzoejinwa, B.B., Ezeama, A.O., Onwualu, A.P., Ugwu, S.N., Ohagwu, C.J. (2018). Overview of soil-machine interaction studies in soil bins. *Soil and Tillage Research*, 175, 13–27. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.08.002>

12. Vetokhin, V., Negrebetskyi, I., Ryzhkova, T., Salo, Y., & Voznyuk, T. (2021) Analytical review of technical solutions for bare rotary projectiles for introducing rare fertilizers into a ball of soil. *Technical and technological aspects of the development and testing of new equipment and technologies for the agricultural state of Ukraine*, 29(43), 95–107. [http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2021-1-29\(43\)-9](http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2021-1-29(43)-9)
13. Vetokhin, V., Popov, S., Ryzhkova, T., Negrebetskyi, I., Leshchenko, S., Amosov, V., Machok, Y., & Petrenko, D. (2024). Improving the soil bin for studying rotary tools taking into account the kinematic features of interaction with the soil. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(1 (132), 31–40. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.315127>

**Volodymyr Vetokhin**, Assoc. Prof., **Tetiana Ryzhkova**, **Oleksandr Rebenok**, a graduate of the PhD tech. sci., **Vladyslav Zaslavets**, a graduate of the PhD tech. sci., **Andrii Korenivskyi**, a graduate of the PhD tech. sci.  
*Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine*

**Volodymyr Amosov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.  
*Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

### **Development of a Modular Soil Mini-channel for Research of Rotary Tools: Design Features**

The article presents the results of the design and manufacture of a small-sized soil bin taking into account the specifics of the functioning of rotary tools.

The object of research is research equipment in the form of a soil bin, intended for scientific and educational study of rotary tools.

The problem to be solved was to find out the specifics of the operation of rotary tools and to design a small-sized soil bin taking into account these specifics. The data obtained in the course of experimental research and theoretical analysis confirmed the determining influence of the kinematic parameter on the indicators of the interaction between the rotary tool and the soil.

As a result of the research, a concept was proposed and a soil mini-bin was designed, which allows investigate both the mechanics of the process and performing graphic modeling.

The obtained result is explained by the fact that the mediator of motion transmission during the experiments is a soil trough, and the drive belt is rearranged in engagement with pulleys of different diameters. This provides a different ratio of linear movement of the cuvette and rotation of the working body.

The peculiarity of the design is the combination of variable movable cuvettes and graphic screens with a stationary position of the rotor. The design provides simplicity and visibility of the assignment of different values of the kinematic parameter.

A distinctive feature is the modularity of the layout. This allows you to conduct research with variable cuvettes with different soil composition, and immediately receive a graphic interpretation of the kinematic mode on the screen. This implementation of the soil mini- bin simplifies the observation and recording of the result of the interaction of the rotor with the model environment.

The field of practical use is scientific research in the field of agricultural engineering. The obtained data can be used to improve existing tools. The research process is part of the educational process at the agricultural university

**soil bin, rotary implement, kinematic parameter, trajectory, soil-tool interaction, tillage**

*Одержано (Received) 28.11.2025*

*Прорецензовано (Reviewed) 18.12.2025*

*Прийнято до друку (Approved) 23.12.2025*