

В. Курка¹ [0000-0003-1247-6770], Г. Герасимчук² [0000-0002-1348-4927],
О. Карлаш [0009-0003-1595-1597], Б. Онищенко¹ [0009-0009-0350-4275], О. Лавріненко¹ [0000-0003-1347-6668],
Н. Гаркуша¹ [0009-0009-9316-1375], Ю. Росамаха¹ [0000-0001-9818-0246]

ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛОВИХ ХАРАКТОРИСТИК ГРУНТООБРОБНИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ

¹Національний університет біоресурсів та природокористування України

²Луцький національний технічний університет

У роботі наведено методика та пристрій для випробувань та результати статистичної обробки динамометричних показників плужного корпусу на прикладі плуга ПЛН 3-35. Авторами здійснено порівняльну оцінку енергетичних та силових параметрів взаємодії робочої поверхні корпусу плуга з ґрунтовим середовищем, що дозволяє визначити три складових результуючої сили опору при обробітку ґрунту і дозволяє більш точніше враховувати їх при проектуванні нових поверхонь ґрунтообробних робочих органів.

Ключові слова: полиця корпусу плуга, силові характеристики, тяговий опір, обробіток ґрунту, тензометрування, енергоємність.

V. Kurka, H. Herasymchuk, O. Karlash, B. Onishchenko, Lavrinenko, N. Garkusha,
Y. Rosamaha

STUDY OF THE FORCE CHARACTERISTICS OF SOIL-WORKING IMPLEMENTS

This paper presents a methodology and apparatus for testing, as well as the results of statistical analysis of the dynamic performance of a plow body, using the PLN 3-35 as an example. The authors conducted a comparative assessment of the energy and force parameters of the interaction between the working surface of the plow body and the soil, which makes it possible to identify the three components of the resultant resistance force during soil cultivation and allows for their more accurate consideration when designing new surfaces for soil-working implements.

Keywords: plow body beam, power characteristics, traction resistance, soil cultivation, strain gauge measurement, energy consumption.

Постановка проблеми. Проектування інноваційних ґрунтообробних інструментів потребує створення принципово нових підходів до формування їхніх робочих поверхонь. Розробка уточненої методики геометричної побудови та відповідної експериментальної бази дозволить глибше розкрити механіку взаємодії системи «робочий орган - ґрунт». Це, у свою чергу, дасть змогу встановити чітку математичну залежність між параметрами кривизни поверхні та фізико-механічними характеристиками середовища, забезпечуючи суттєве зниження енерговитрат і підвищення якості технологічного процесу.

Постановка завдань. Метою дослідження є вплив фізико-механічних властивостей ґрунту на геометричні та конструктивні параметри ґрунтообробних робочих органів, а саме при розробленні нових поверхонь оптимальної кривизни.

Матеріали та методи. Експерименти проводилися з використанням нового пристрою для визначення силових характеристик ґрунтообробних робочих органів та з використанням корпусу плуга ПЛН-3-35.

Викладення основного матеріалу. Головним завданням розробленого обладнання є повна динамометрична оцінка зусиль, що виникають на робочому органі, шляхом реєстрації трьох векторних компонентів сили опору [1].

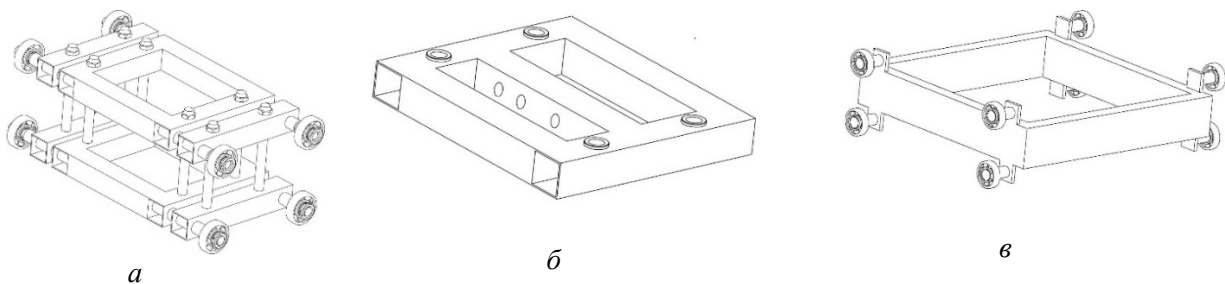


Рис. 1. Рами для вимірювання складових сил опору

а - рама, для вимірювання бокової складової сили опору; б - рама, для вимірювання вертикальної складової сили опору; в - рама, для вимірювання поздовжньої складової сили опору

© В. Курка, Г. Герасимчук, О. Карлаш, Б. Онищенко,
О. Лавріненко, Н. Гаркуша

Конструктивна схема пристрою для динамометрування базується на системі взаємопов'язаних рам, кожна з яких відповідає за фіксацію певної складової сили опору (вертикальної, бокової та поздовжньої). Фіксація зусиль здійснюється за допомогою трьох тензорезисторних датчиків, що працюють на розтяг-стиск, а загальна рама забезпечує жорстке з'єднання вимірювального комплексу з навіскою трактора [2].

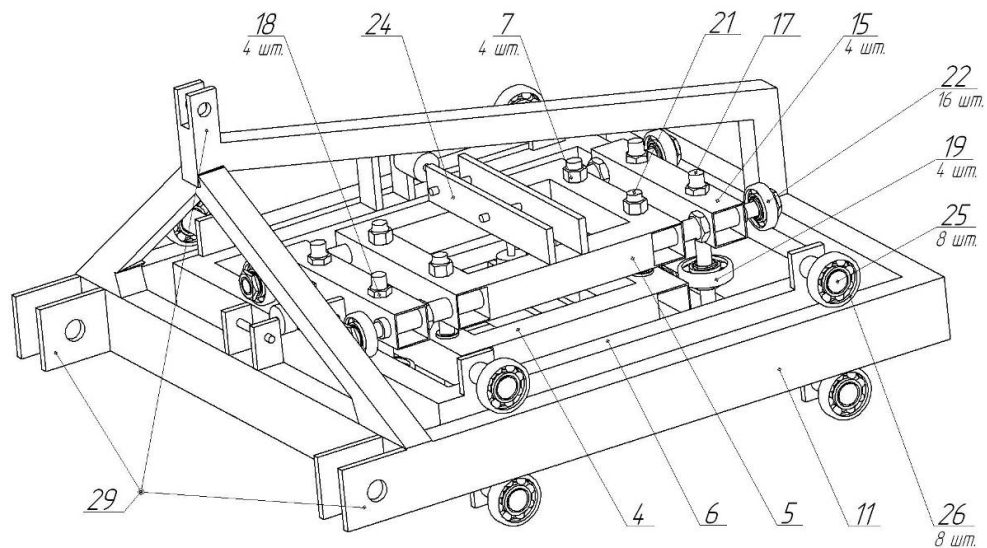


Рис. 2. Пристрій, загальний вигляд

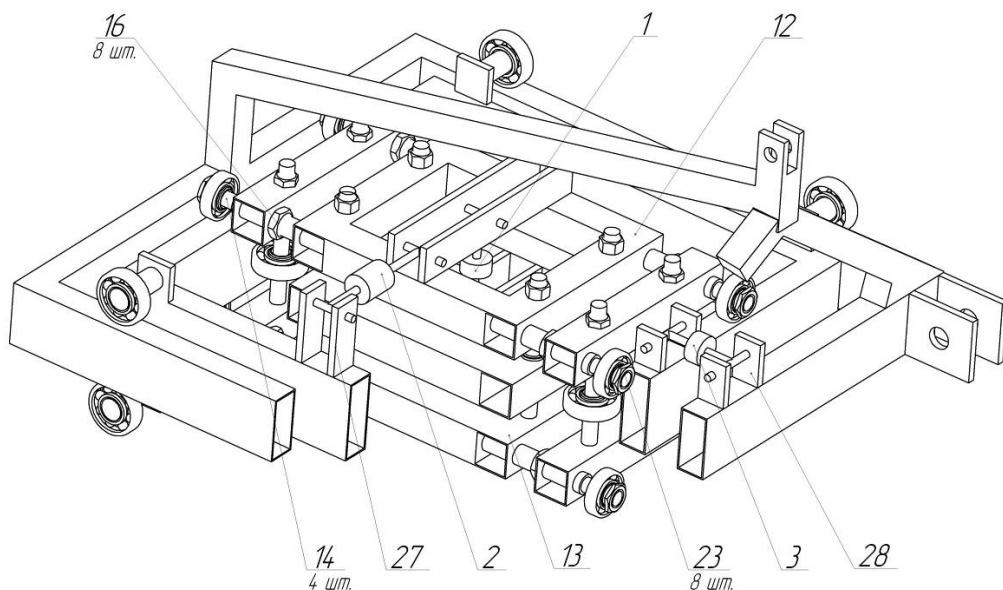


Рис. 3. Тензорама, місцевий переріз

Рама 4 складається з втулок 9, місць для кріплення ґрунтообробного робочого органу 8 і тензорезисторного датчика 10. Рама 5 складається з: верхньої рамки 12, на якій знаходиться місце для кріплення тензорезисторних датчиків 24, нижньої рамки 13 і направляючих 21, попарно розміщених знизу і зверху осей 14 і рамок 15, які розміщені з двох сторін відносно верхньої і нижньої рамок 12 і 13 на осях 14 і гайок 16.

Рамки 15 складаються з підшипників 19, які посаджені на втулки 20 і направляючих 17, направляючих 21 і гайок 18 і 7, підшипників 22, посаджених на втулки 23. Рама 6 складається з осей 25, підшипників 26 і місць 27 і 28, для кріплення тензорезисторних датчиків. Рама 11 має місця 29, для кріплення до тракторного агрегату.

При дії на ґрунтообробний робочий орган, який кріпиться у місці 8, рама 4 переміщується по направляючих 21 вгору-вниз і діє на тензорезисторний датчик 1 закріплений у місцях кріплення 10 і 24, який вимірює вертикальну складову сили опору.

Рама 4 через втулки 9 передає зусилля на направляючі 21 і рама 5 переміщується по рамі 6

через підшипники 22 перпендикулярно напрямку руху тракторного агрегату у горизонтальній площині і діє на тензорезисторний датчик 2, закріплений у місцях кріплення 24 і 27, для вимірювання бокової складової сили опору.

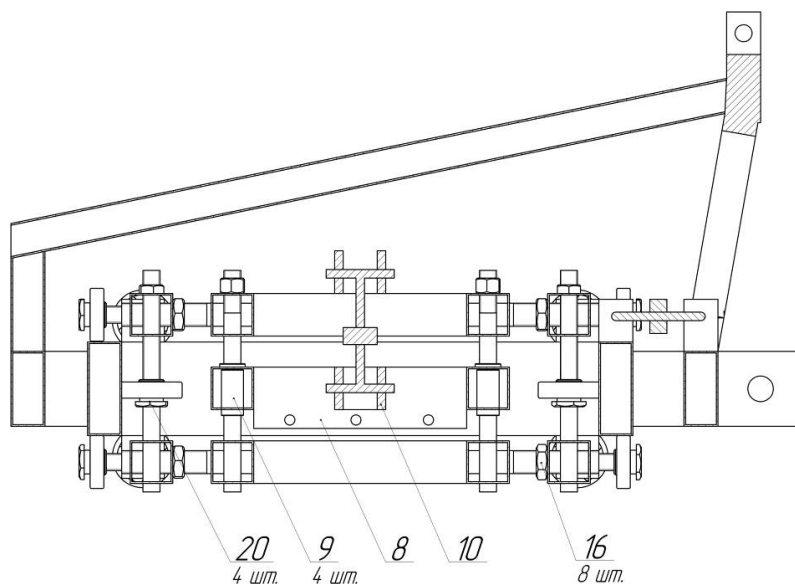


Рис. 4. Пристрій для динамометрування, вигляд збоку (розріз)

Попарне розміщення підшипників 22 зверху і знизу рами 6 запобігає перекосу рами 5 у вертикальній площині, а через рамки 15, які піджимають направляючі 17 і підшипники 19 з допомогою гайок 16 до рами 6 не допускається перекіс рами 5 у горизонтальній площині.

Зусилля з рами 5 передається на раму 6, через підшипники 19, які переміщуються по внутрішній частині рами 6. Рама 6 переміщується по рамі 11 через підшипники 26 у напрямку руху тракторного агрегату, або протилежному напрямку у горизонтальній площині і діє на тензорезисторний датчик 3, що вимірює повздовжню складову сили опору.

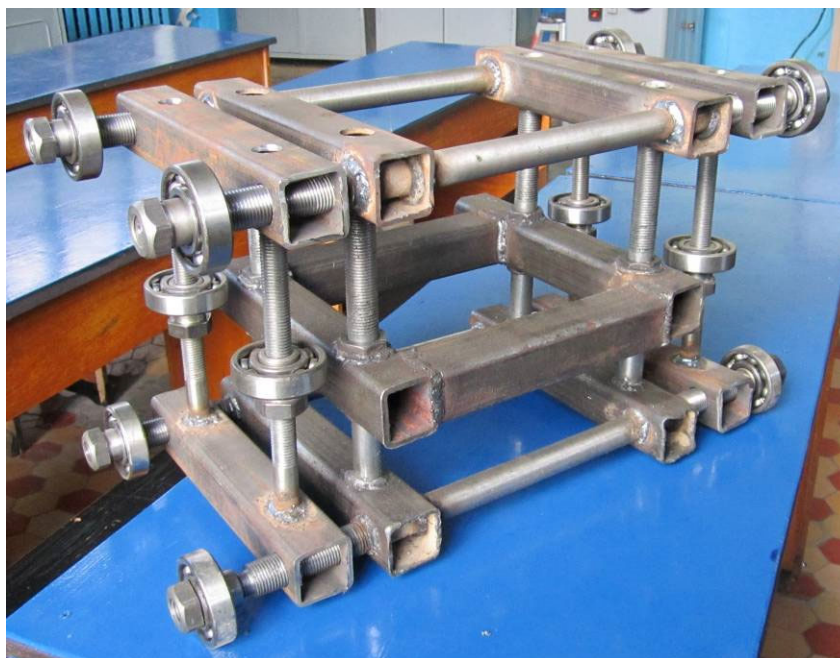


Рис. 5. Рама для визначення вертикальної і бокової складової сили опору

Пристрій складається з трьох тензорезисторних датчиків, які працюють на розтяг-стиск, рам для вимірювання складових сили опору, які переміщуються паралельно напрямкам дії відповідних складових результуючої сили опору ґрунту, що досліджуються [3]:

$$F_{\text{верт}} = F_{p1} + F_{x1}; F_{\text{попер}} = F_{p2} + F_{x2}; F_{\text{повзд}} = F_{p3} + F_{x3} \quad (1)$$

де F_{p1} , F_{p2} , F_{p3} – сила опору вертикальної, поперечної і поздовжньої складової при

© В. Курка, Г. Герасимчук, О. Карлаш, Б. Онищенко,
О. Лавріненко, Н. Гаркуша

робочому ході;

F_{x1} – сила з якою вертикальна рама з корпусом плуга діє на датчик при холостому ході;

F_{x2} – сила для переміщення поперечної рами (включаючи вертикальну раму і корпус плуга);

F_{x3} – сила для переміщення поздовжньої рами (разом з вертикальною і поперечною рамами та корпусом плуга).

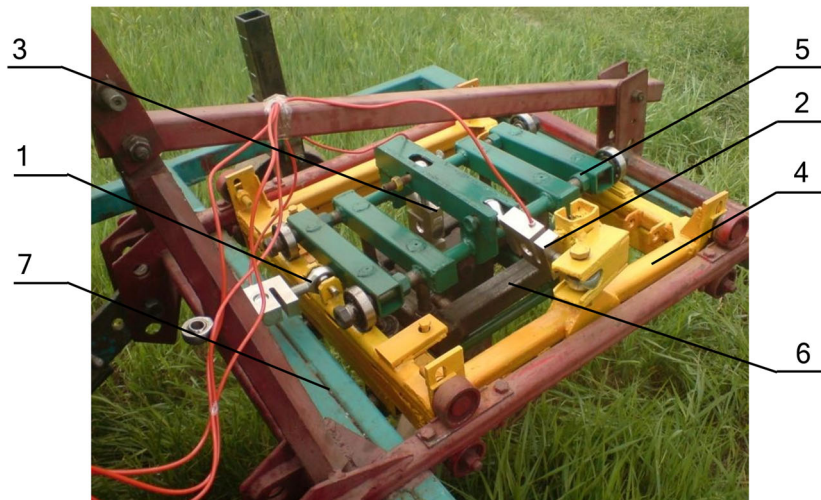


Рис. 6. Експериментальна установка

1, 2, 3 – датчики для вимірювання відповідно поздовжньої, бокової та вертикальної складової результуючої сили опору; 4, 5, 6, 7 – рами, які сприймають відповідно поздовжню, бокову, вертикальну складові результуючої сили опору та рама для кріплення всієї конструкції до трактора.

Для отримання числових значень складових (поздовжньої, бокової і вертикальної) результуючої сили опору ґрунту при оранці проводилося тарування датчиків для визначення зміни напруги, від сили прикладеної до датчика, яка згідно отриманих даних, що наведені на рис.7 та характеризується такою залежністю:

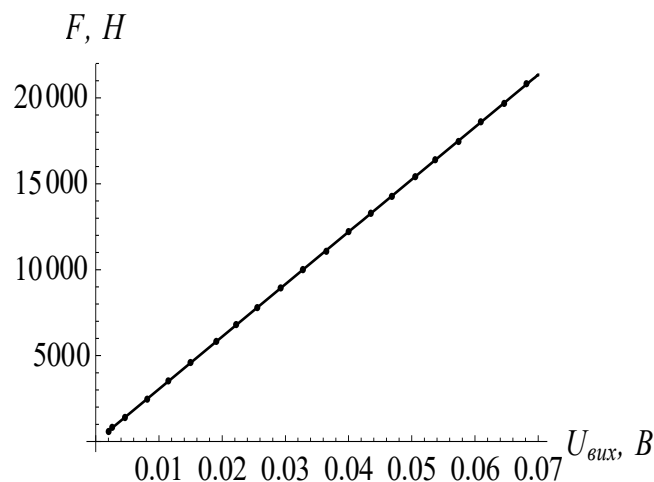


Рис. 7. Графік тарування датчиків

$$F = 0,041011 + 304999U \quad (2)$$

де, U – напруга, В; F – сила, що прикладалася.

Для підвищення точності вимірювання і отриманні достовірних даних, перед дослідженням силових характеристик експериментальної полиці корпусу плуга, проводилася порівняльна оцінка показів датчика при дії на корпус плуга та у місці кріплення датчика при холостому ході рам.

Навантаження рам і корпусу плуга здійснювалося з інтервалом 100Н у трьох кратній послідовності, а дані фіксувалися з допомогою АЦП.

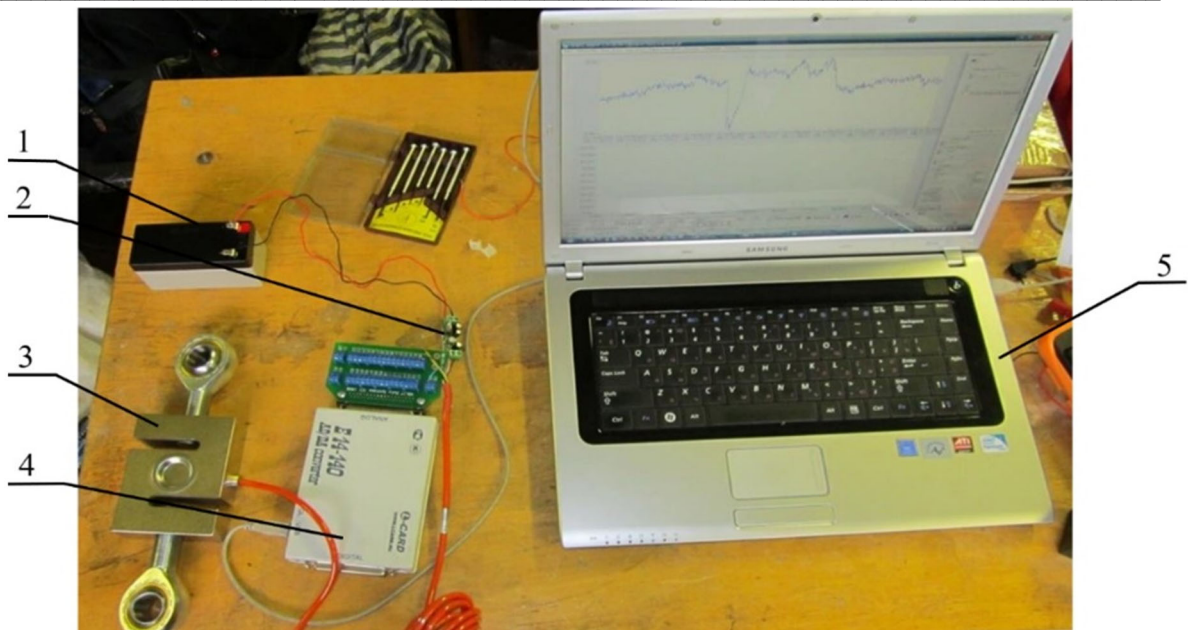


Рис. 8. Схема підключення датчика

1 – джерело живлення (АКБ); 2 – регулятор напруги; 3 – тензометричний датчик;
4 – АЦП; 5 – ПК.

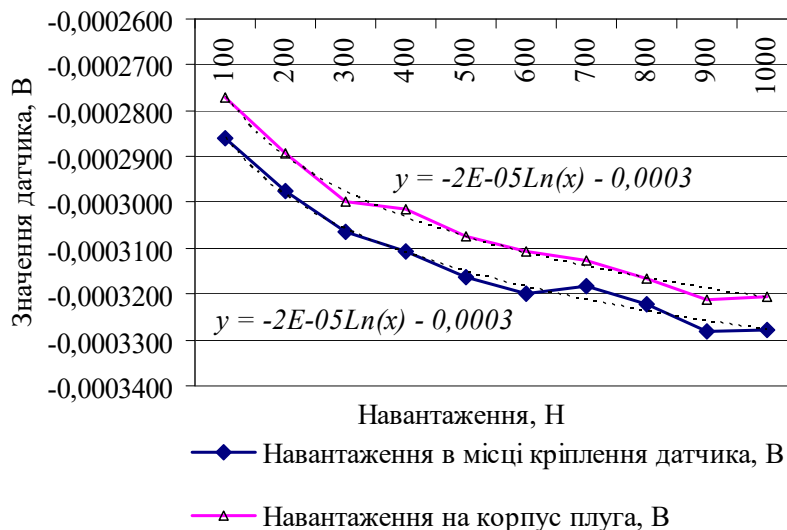


Рис. 9. Тарування поздовжньої рами

Аналіз даних отриманих при таруванні вертикальної, бокової і поздовжньої рам, що вимірюють відповідні складові результуючої сили опору переміщення корпусу плуга під час оранки показав, що різниця у показав даних отриманих з датчиків при навантаженні на корпус плуга і у місці кріплення датчиків наступна:

- датчик №1 (поздовжня рама) – 2,45 %;
- датчик №2 (вертикальна рама) – 3,11 %;
- датчик №3 (бокова рама) – 2,77 %.

При таруванні рами, що вимірює вертикальну складову результуючої сили опору, використовувався підвісний кран. Оскільки напрямок навантаження під час тарування рами у місці кріплення датчика і на корпусі плуга співпадають, визначалося лише зусилля для переміщення рами при холостому ході з врахування маси корпусу плуга і рами, що сприймає це зусилля. Тарування вертикальної вимірювальної рами проводили підвісним краном. Оскільки напрямки прикладання сили в місці встановлення датчика та на корпусі збігалися, визначали лише зусилля холостого ходу рами, враховуючи власну вагу конструкції та плужного корпусу.

Для підтримки сталої глибини обробітку та запобігання перекосам конструкції використовувалися опорні колеса з функцією копіювання поверхні. Вони також дозволяли точно

налаштовувати заглиблення. При цьому тензорама під час досліджень знаходилася в положенні, паралельному поверхні ґрунту.

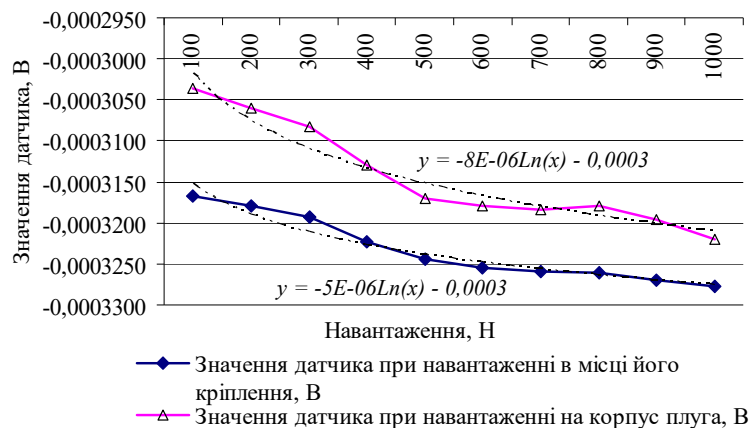


Рис. 10. Графік тарування бокової рами

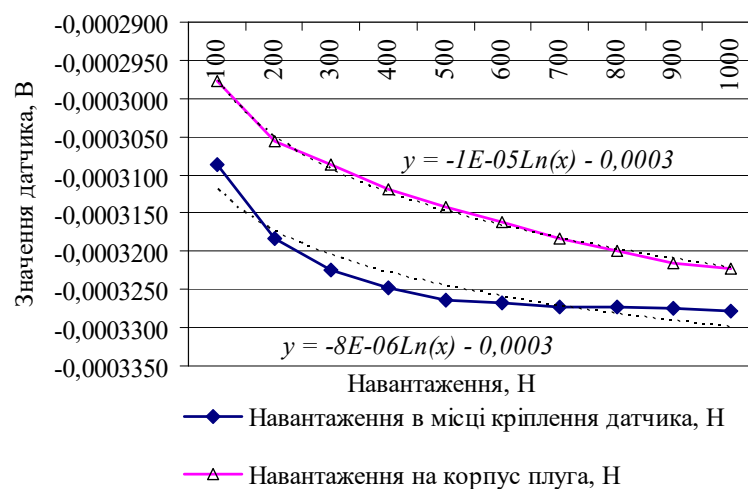


Рис. 11. Калібрування силових елементів вертикальної конструкції

Ключовими факторами, що визначають енергетичні показники та якість оранки під час польових випробувань, є вологість і щільність ґрунту. Визначення цих параметрів здійснювалося шляхом відбору проб по довжині гону в триразовій повторності [4].

Середні значення вологості під час проведення досліджень були наступні: в шарі ґрунту 5 см – 30,38%, до 10 см – 22,43%, на глибині 10 – 15 см становила 21,95%, в шарі ґрунту 15 – 20 см – була 20,86% та 19,78% відповідно для діапазону 20 – 25 см.

Щільність ґрунту змінювалася в межах: в шарі ґрунту 5 см – 1,251 г/см³, до 10 см – 1,264 г/см³, на глибині 10 – 15 см становила 1,174 г/см³, в шарі ґрунту 15 – 20 см – була 1,146 г/см³ та 1,328 г/см³ відповідно для діапазону 20 – 25 см.

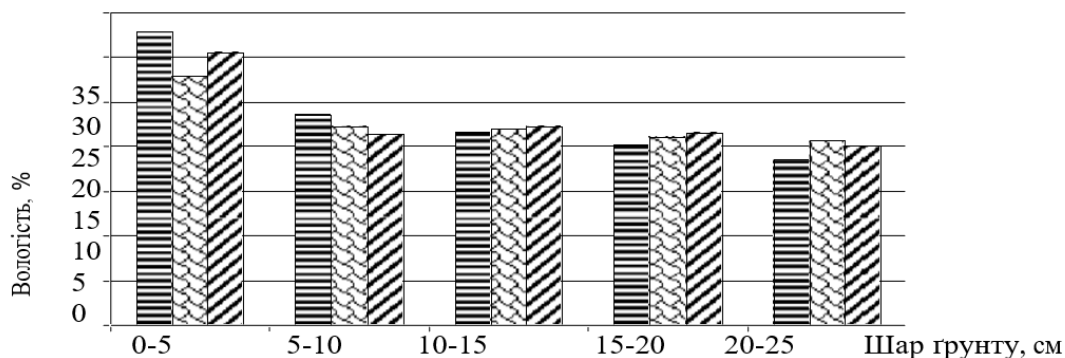


Рис. 12. Динаміка розподілу вологи за генетичними горизонтами ґрунтового профілю

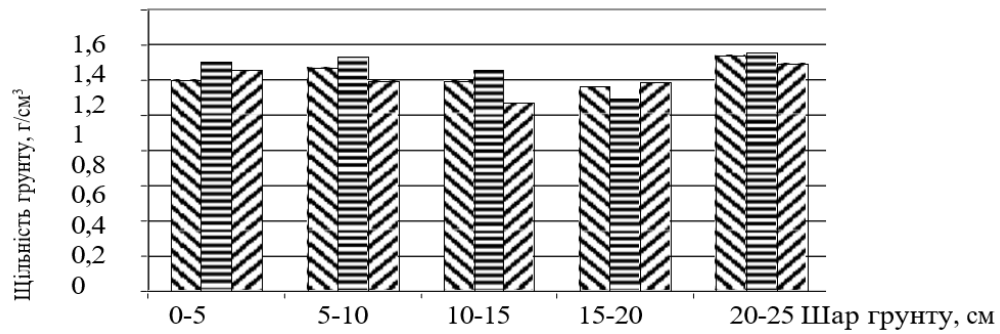


Рис. 13. Вертикальний профіль щільності ґрунту залежно від глибини залягання

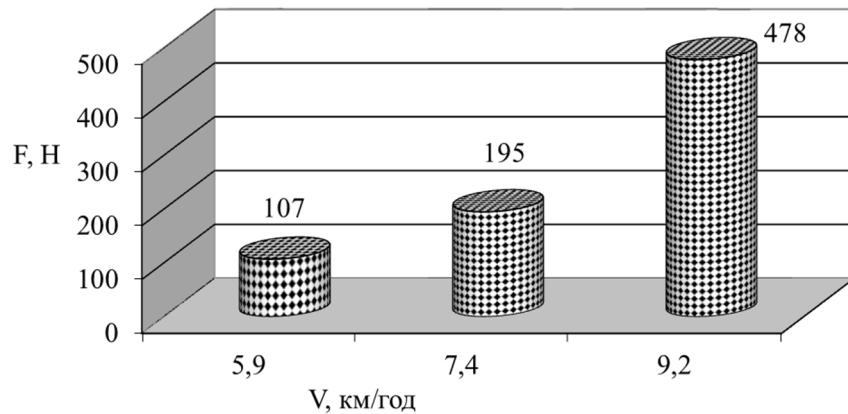


Рис. 14. Динаміка зміни бокових зусиль залежно від швидкісного режиму роботи на глибині оранки 25 см

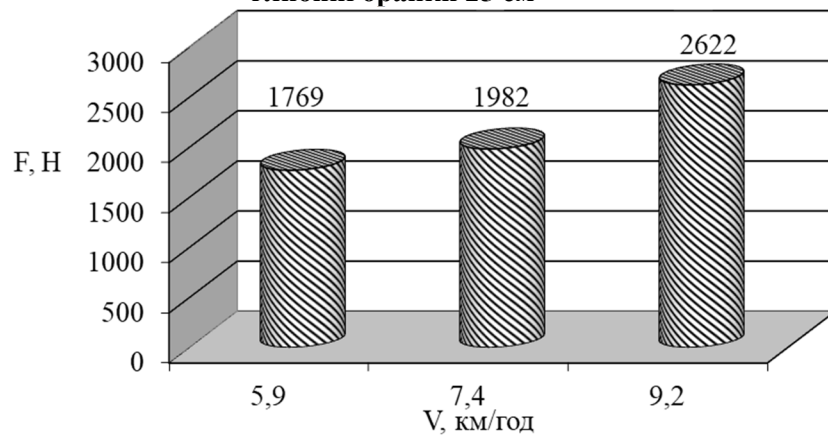


Рис. 15. Закономірність зміни тягового опору залежно від швидкісного режиму роботи на глибині 25 см

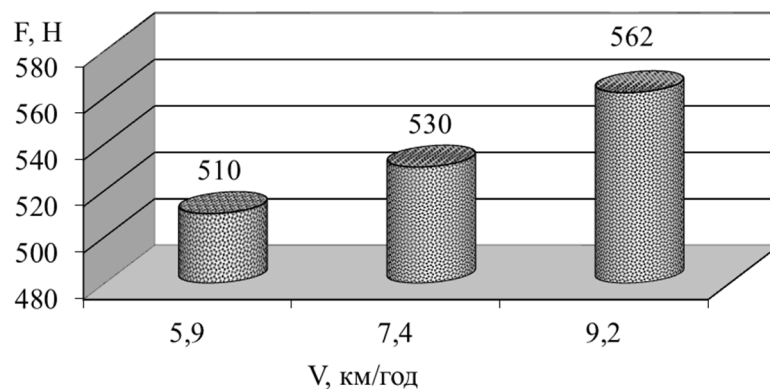


Рис. 16. Закономірність зміни вертикальної складової сили опору залежно від швидкості обробітку на глибині 25 см

© В. Курка, Г. Герасимчук, О. Карлаш, Б. Онищенко,
О. Лаврінченко, Н. Гаркуша

Висновки. Застосування розробленого вимірювального пристрою дозволило з високою точністю визначити три компоненти результуючої сили опору, що у свою чергу дозволяє визначити напрямок та величину результуючої сили опору, яка діє на поверхню ґрунтообробного робочого органу. Такий результат досягнутий завдяки конструктивному рішенню рам, що передають зусилля на датчики паралельно векторам досліджуваних сил, мінімізуючи похибки вимірювань.

Результати польових випробувань, наведені на рис. 14 – 16, дозволили встановити діапазон зміни тягового опору серійної полиці плуга ПЛН 3-35, а саме 1769 – 2622 Н при зміні швидкості руху у межах 5,9 – 9,2 км/год та глибині 25 см. Зміна бокової складової сили опору змінювалася у межах 107 – 478 Н, а вертикальна складова сили опору змінювалася у межах 510 – 562 Н.

Аналіз проведених досліджень дозволив встановити, що при роботі на глибині 25 см зміна швидкості у межах 6 – 9 км/год не суттєво впливає на вертикальну складову сили опору.

Список використаних джерел:

1. Монографія: В.П. Курка, Обґрунтування форми поверхні та конструктивних параметрів полиці ґрунтообробного робочого органу, Редакційно-видавничий відділ НУБіП України, Київ, Україна, 2015. – 224 с.
2. Монографія: В.П. Курка, Розвиток техніки для обробітку та досліджень властивостей ґрунту, НУБіП України, ЦП «КОМПРИНТ», Київ, Україна, 2016. – 481 с.
3. Патент: Ковбаса В.П., Курка В.П., 2012. Пристрій для динамометрування сільськогосподарських знарядь при обробітку ґрунту, Україна, №74808.
4. Монографія: В.П. Курка, Н.А. Дубчак, А.Ю. Ліннік, С.Г. Білик, В.І. Диня, О.В. Фльонц Синтез конструкцій ґрунтообробно-посівних машин в технологіях виробництва зерна, Редакційно-видавничий відділ НУБіП України, Київ, Україна, 2020. – 260 с.

Дата надходження статті до видання: 23.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 24.05.2026

Дата оприлюднення 28.05.2026