

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Двораковський Ілля Олександрович

УДК 631.51

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ПОКРАЩЕННЯ КОНТРОЛЮ АГРОТЕХНІЧНИХ
ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ НА
СХИЛАХ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Двораковський І.О.

Керівник роботи

Грабар І.Г.

доктор технічних наук, професор

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Двораковський Ілля Олександрович. Покращення контролю агротехнічних показників якості обробітку ґрунту на схилах. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

В магістерській роботі удосконалено конструктивно-технологічну схему профілографа для контролю агротехнічних показників якості обробітку ґрунту на схилових землях.

Встановлено залежності, що описують мікрорельєф і відкриту борозну оранки, визначено агротехнічні показники якості обробітку ґрунту та відповідність їх агротехнічним вимогам, встановлено закономірності формування похибки вимірювання профілографом.

На основі проведених досліджень визначено раціональні конструктивно-технологічні параметри профілографа. Для адекватного розрахунку параметрів денної поверхні ґрунту на рівних поверхнях базова довжина профілю в 2,5 м за повороту приладу на кут 150...180 градусів є достатньою. Для підвищення точності приладу в межах допустимих значень помилки під час контролю агротехнічних показників якості обробітку ґрунту ґрунтообробною машиною необхідно збільшити кількість замірів по колу шляхом зміни радіусу, швидкості сканування та частоти вибірки (добору або регулювання датчика) виходячи з виду обробітку ґрунту.

Ключові слова: *рельєф, ґрунту, обробка, агротехнічні вимоги, профілограф.*

ANNOTATION

Dvorakovsky Ilya Alexandrovich. Improved control over the agronomic quality of soil cultivation on slopes. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 Agricultural Engineering.
– Polissya National University, Zhytomyr, 2023.

In the master's thesis, the design and technological scheme of the profilograph for monitoring the agrotechnical indicators of soil cultivation quality on sloping lands was improved.

Dependencies describing the microrelief and open furrow of ploughing were established, agrotechnical indicators of soil cultivation quality and their compliance with agrotechnical requirements were determined, and the laws of formation of measurement error by the profilograph were established.

On the basis of the conducted research, the rational design and technological parameters of the profilograph were determined. For an adequate calculation of the parameters of the daytime soil surface on flat surfaces, the basic profile length of 2.5 m when the device is rotated by an angle of 150...180 degrees is sufficient. To increase the accuracy of the device within the permissible error values when controlling the agrotechnical quality indicators of soil cultivation by a tillage machine, it is necessary to increase the number of measurements in a circle by changing the radius, scanning speed and sampling frequency (selection or adjustment of the sensor) based on the type of soil cultivation.

Keywords: relief, soil, tillage, agrotechnical requirements, profilograph.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП..... | 5 |
| РОЗДІЛ 1. РОЛЬ І ЗНАЧЕННЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ РОБОТИ ГРУНТООБРОБНИХ ЗНАРЯДЬ НА СХИЛОВИХ ЗЕМЛЯХ..... | 18 |
| РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ТА ОПИС КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ПРОФІЛОГРАФА. ОБЛАДНАННЯ ТА МЕТОДИКА ПОЛЬОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ..... | 25 |
| РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОФІЛОГРАФА В ПОЛЬОВИХ УМОВАХ..... | 39 |
| ВИСНОВКИ..... | 50 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 51 |

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Землеробство є однією з основних галузей агропромислового комплексу, що займається вирощуванням культурних рослин. Під час роботи ґрунтообробних машин на агроландшафтах виділяють цілу низку основних показників якості виконання основного та передпосівного обробітку ґрунту. Обов'язковою умовою якісного виконання технологічного процесу встановлюється постійне й точне дотримання величин і діапазонів зміни агротехнічних показників якості обробітку ґрунту. Як правило, відомі способи та підходи під час оцінювання якості обробітку ґрунту залишаються неточними та трудомісткими.

Традиційна система інтенсивного землеробства істотно знижує родючість ґрунту і врожайність оброблюваних культур, особливо на схилових землях за рахунок посилення ерозійних процесів і деградації ґрунту. Згідно з даними від ерозійних процесів на ріллі втрати ґрунту становлять у середньому 15...20 т/рік з одного гектара агроландшафту.

Точне землеробство дає змогу керувати продуктивністю посівів, кількісно враховуючи внутрішньопольову варіабельність середовища існування рослин. Для збереження родючості ґрунту на схилах абсолютно всі механізовані технології обробітку ґрунту повинні мати певні обмеження та особливості. У зв'язку із впровадженням нових ґрунтообробних технологій, цифрового землекористування та природооблаштування наявні підходи та технічні засоби контролю не повною мірою відповідають сучасним тенденціям контролю не повною мірою відповідають сучасним вимогам для кількісної оцінки якості механізованого обробітку ґрунту, особливо в частині точності та достовірності визначення показників. Тому постає завдання вдосконалення технічних засобів, що дають змогу контролювати агротехнічні показники якості виконання технологічного процесу обробітку ґрунту на схилових землях.

Об'єкт дослідження – технологічний процес і профілографи для контролю якості механізованого обробітку ґрунту на схилах.

Предмет дослідження – закономірності функціонування профілографа для визначення агротехнічних показників механізованого обробітку ґрунту на схилах.

Метою роботи є удосконалення методу та технічного засобу контролю агротехнічних показників для підвищення якості та ефективності механізованого обробітку ґрунту на схилах.

У зв'язку з поставленою метою в цій роботі вирішувалися такі науково-практичні завдання:

- удосконалити метод контролю агротехнічних показників механізованого обробітку ґрунту на схилах;
- провести виробничу перевірку розробленого методу.

Методи наукового дослідження. Дослідження проводилися на основі застосування методів кореляційного та регресійного аналізу, землеробської механіки, математичного моделювання, теорії планування експериментів, теорії ймовірностей і математичної статистики.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Грабар І. **Двораковський І.** Обґрунтування застосування та опис конструктивно-технологічної схеми профілографа. *Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки»*. Кропивницький: ЦНТУ. 2023. С. 406-407.

2. Грабар І.Г. **Двораковський І.О.** Методи і технічні засоби контролю агротехнічних показників якості роботи ґрунтообробних знарядь. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали V Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Запоріжжя, 01-24 листопада 2023 р.)*. Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. С. 71-77.

3. **Двораковський І.О.** Роль і значення контролю якості роботи ґрунтообробних знарядь на схилах. *Студентські читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. 25 жовтня 2023 р.* Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 46-48.

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для виробництва представляє розроблений технічний засіб контролю агротехнічних показників.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 19 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 53 сторінки комп'ютерного тексту, містить 37 рисунків.

РОЗДІЛ 1

РОЛЬ І ЗНАЧЕННЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ РОБОТИ ҐРУНТООБРОБНИХ ЗНАРЯДЬ НА СХИЛОВИХ ЗЕМЛЯХ

В агропромисловому комплексі обсяги та якість урожаю суттєво залежать від якості виконання технологічних операцій обробітку ґрунту ґрунтообробними знаряддями. Від того, наскільки якісно буде виконано перші операції за технологічної карти обробітку сільськогосподарської культури, залежить якість виконання операцій посіву та садіння сільськогосподарських культур. А це, як правило, прийоми основного обробітку ґрунту, що включають оранку або глибоке розпушування, боронування тощо. Загалом порушення якості виконання операцій під час обробітку культур протягом вегетаційного періоду призведе до того, що не буде створено сприятливих умов для зростання рослин [19].

Спираючись на державні стандарти, агрономічна служба проводить оцінку якості польових робіт (бракераж агротехнічний), встановлюючи відповідність якості обробітку ґрунту, посіву та збирання врожаю агротехнічним вимогам і характеристикам. У процесі агротехнічного бракеражу перевіряють та оцінюють операції обробітку ґрунту: якісні показники оранки, боронування, луцення стерні, культивації (рис. 1.1). Якісні та кількісні показники оранки суттєво залежать від таких чинників, як: стан сільськогосподарського поля в строк обробітку ґрунту, розміри оброблюваної ділянки, її конфігурація, фізико-механічні властивості ґрунту, склад машинно-тракторного агрегату, його технічний стан, відповідність регулювань сільськогосподарської машини та інших умов [19].

Контроль якості оранки у виробничих умовах проводять на початку виконання операції та оцінюють під час її проведення. Такий підхід забезпечує своєчасне усунення порушень агротехнічних вимог обробки ґрунту [19].



Рис. 1.1. Схема показників для оцінки якості основного та передпосівного обробітку ґрунту [19].

Аналізуючи схему агротехнічних показників оцінки якості основного та передпосівного обробітку ґрунту (рис. 1.1), можна помітити, що багато показників включено в усі три групи (глибина обробітку, глибистість, гребнистість тощо). Таким чином, можна підійти до вирішення питання оцінки якості різних видів обробітку ґрунту комплексно й універсально. Для скорочення обсягу та трудомісткості робіт, методик і пристроїв контролю необхідно розробити єдину систему оцінювання якості обробітку ґрунту [19].

Агротехнічні вимоги до оранки ґрунту [19]:

1. Відхилення середньої глибини оранки ґрунту - ± 1 см від заданої глибини.
2. Рівномірність глибини оранки - не менше 90 %.
3. Висота звального гребня – 5...7 см.

4. Частка кришіння ґрунту (грудки діаметром понад 5 см) - 10...15 %.
5. Повне загортання бур'янів, рослинних залишків і добрив.
6. Глибина оранки під свальним гребенем - не менше половини заданої глибини оранки.
7. Відхилення від прямолінійності оранки на 100 м гону - ± 10 см.
8. Не допускаються огріхи та необроблені смуги [19].

До головних завдань протиерозійного обробітку ґрунту, що виконується на схилових землях, також відносять [19]:

- створення на поверхні схилу певного мікрорельєфу;
- надання дрібногрудкуватої структури та пухкого стану ґрунту для поліпшення поглинання вологи та його водопроникності;
- поглиблення орного шару та руйнування плужної "підосви".

За ухилу прямокутної конфігурації поля до 3° оранку виконують впоперек напрямку схилу. Для складних схилів оранку проводять за ізогіпсами, що повторюють горизонталі схилу, тобто виконують контурний обробіток [19].

Складність виконання ґрунтообробних операцій на схилі пов'язана не тільки з рухом машинно-тракторного агрегату по горизонталях, а й із процесом обробітку ґрунту. Під час виконання прийому оборот родючого шару ґрунту має відбуватися в напрямку верхньої частини схилу, причому ґрунт не повинен переміщатися вниз [19].

Агротехнічні вимоги до оранки схилових земель [19]:

- 1) дотримання контурності борозен і гребенів – до 5° відхилення обробітку від ізогіпс схилу;
- 2) дотримання глибини обробітку;
- 3) забезпечення проєктної висоти валів;
- 4) забезпечення гарного кришіння пласта.

Залежно від ухилу обирають глибину і спосіб протиерозійного обробітку ґрунту [19].

У зв'язку з цим комплексний контроль якості основного обробітку ґрунту на схилах неможливий без сучасного технічного засобу, що забезпечує вимірювання цілої низки агротехнічних показників [19].

Нині в процесі контролю агротехнічних показників якості роботи ґрунтообробних знарядь, оцінка мікрорельєфу ділянки поля і глибини обробітку ґрунту здійснюється кількома способами (рис. 1.2) [18].

Згідно з наведеною схемою (рис. 1.2) способи контролю мікрорельєфу ділянки поля та глибини обробітку ґрунту поділяються за такими ознаками:

- за взаємодією приладу та інструменту з досліджуваним середовищем виділяють контактні та безконтактні методи вимірювання відстані;
- щодо технологічного процесу обробітку ґрунту використовують статичні методи, які застосовують до і після роботи ґрунтообробного знаряддя, і динамічні способи, задіяні паралельно з роботою машини [18].

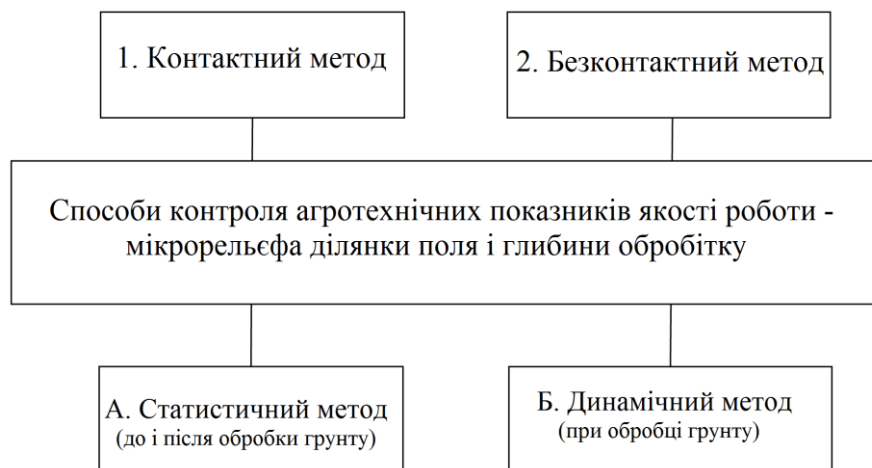


Рис. 1.2. Способи контролю агротехнічних показників якості роботи [18].

Відмінною особливістю контактного методу визначення відстані або профілю є безпосередній контакт приладу або інструменту з ґрунтом: рулетки або лінійка з рейками, бороздоміри, щупи або глибиноміри, вимірювальні профілометри, наприклад ПП-250 [18].

Статичні та контактні підходи застосовуються, в основному, за методиками ДСТУ. Під час устанавлення глибини оранки під час роботи для відкритої борозни використовується бороздомір-глибинометр або вимірювальна лінійка (рис. 1.3). Замір проводять по стінці борозни, заміряючи відстань від

поверхні обробленого поля до дна борозни. За допомогою вимірювальних засобів виконується близько 25 замірів по довжині гону на відкритій борозні. Встановлюють значення середніх арифметичних глибин оранки [18].

Визначення глибистості ріллі- сумарної площі грудок розміром понад 5 см, вираженої у % до площі квадратного метра, - проводять шляхом накладення рамки із сіткою, також у 25 місцях на оброблюваному полі. Для кожної елементарної площадки встановлюють кількість грудок розміром понад 5 см, які являють собою брили, водночас розраховують їхню площу [18].

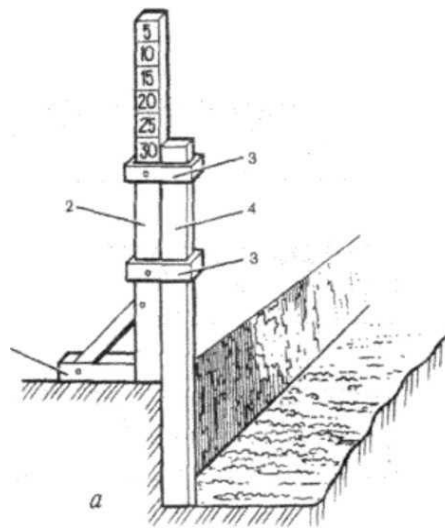


Рис. 1.3. Визначення бороздоміром глибини оранки [18].

Згідно з відомими практикумами, гребнистість ріллі встановлюють у найбільш типовому місці обробленої поверхні ґрунту профілеміром або вимірювальною лінійкою. Горизонтальну планку розташовують впоперек ріллі з розподілами через 5 см на два сусідні гребені. Також гребнистість вимірюють, використовуючи мірну стрічку завдовжки понад 2 м (рис. 1.4). Попередньо поперек обробітку ґрунту встановлюють пару кілочків на відстані двох метрів. Отриману відстань беруть за проекцію (рис. 1.4, а). Далі на поверхню ґрунту укладають гнучкий шнур із розподілами (рис. 1.4, б), тому що в результаті вимірювання денної поверхні ґрунту довжина шнура зменшується. Різниця довжин дає змогу встановити гребнистість поверхні [18].

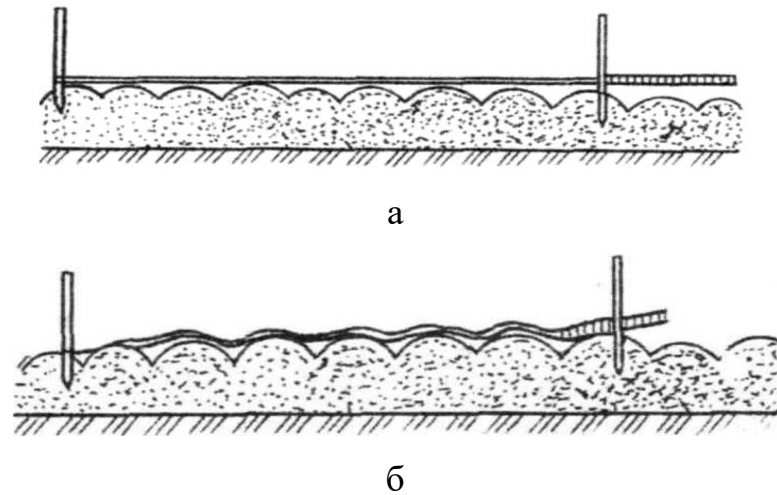


Рис. 1.4. Вимірювання гребнистості поверхні ґрунту мірною стрічкою: а) проекція; б) копіювання [18].

Відношення загальної довжини шнура, використовуваного у вимірюванні, до довжини проекції між двома кілочками становить, як правило, величину більшу, ніж одиниця. Це співвідношення приймають за коефіцієнт гребнистості.

Найбільшого застосування серед контактних способів набув метод профілометрування або пін-метод. Голчасті (штирові) профілометри або пінметри, як і колись популярні у вимірах мікрорельєфу поверхні ґрунту, перевагою яких є простота вимірювання (рис. 1.5). Довжина штирвого профілометра становить 1 м та інтервал відбору проб через 2 см [18].

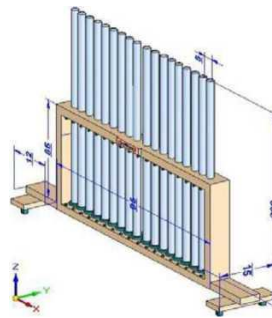


Рис. 1.5. Приклад застосування штирвого профілометра для визначення мікрорельєфу ділянки поля [18].

Є ціла низка недоліків, які обмежують застосування штирвого профілометра. До них відносять трудомісткість операції за рахунок великих витрат ручної праці та часового періоду на обробку отриманих даних.

У єгипетському університеті в 2013 році R. Negazy розробив вимірювач профілю ґрунту, що включає цифрове візуалізуюче обладнання та програмне забезпечення для відстеження й аналізу зображень (рис. 1.6) [18].

Розроблений ґрунтовий профілемір успішно продемонстрував зміни рисунка профілів унаслідок поверхневої іригаційної ерозії з точки зору зміни висоти. Для неглибоких і широких каналів відмінності у вимірних висотах ґрунтовим профілеміром після і до зрошення зазвичай коливалися від 0 до 11 мм, у той час як у глибоких канавах відмінності у висотах коливалися від 0 до 44 мм. За допомогою гребневих профілів вимірювач профілю ґрунту відстежував зміну вимірних висот від 0 до 13,88%, а також високий відсоток варіації, отриманий під час вивчення плоского верхнього шару борозни. Найбільший відсоток становив 17,1 % на початку лінії борозни [18].



а



б

Рис. 1.6. Вимірювач профілю ґрунту: а – схема в аксонометрії; б – у процесі заміру [18].

Для цих пристроїв можна виділити такі недоліки: громіздкість конструкції, визначення профілю денної поверхні ґрунту для однієї площини, як правило, поздовжньо-вертикальної, додатково голки руйнівні впливають на ґрунт [18].

Серед безконтактних підходів користуються популярністю наземне лазерне та інтерференційне сканування, а також цифрова фотограмметрія. Цей метод дає змогу проводити вимірювання на великих площах як стаціонарно, так і із застосуванням безпілотного літального апарата [18].

Методи цифрової фотограмметрії мають такі недоліки: вони чутливі до світла сонця, тому потрібно проводити виміри в обмежених метеорологічних умовах, додатково цей метод трудомісткий в обробці отриманих даних і особливо в калібрувальних операціях [18].

Розглядаючи лазерні засоби вимірювання, виділимо лазерні сканери та профілографи. Чутливість до сонячного світла є головним недоліком лазерного сканування. Перевагою таких профілографів є висока точність вимірювання, а недоліком - вимірювання для однієї площини [18].

Під час випробування сільськогосподарської техніки І.М. Кіреєвим реалізовано експрес-оцінку мікрорельєфу облікового майданчика поля із застосуванням лазерного профілографа ПП-284-01 (рис. 1.7). Профілограф складається з координатної рейки, рухомої каретки, приводного двигуна, кронштейна, пружинного механізму, вузла притискних роликів, акумулятора, електронного блоку, встановленого в корпусі кріплення акумулятора, індуктивного датчика та лазерного далекоміра. Попередньо перед проходом сільськогосподарської машини на ділянці встановлюють координатну рейку на штативи, і далі за рівнем виставляють горизонтальне її положення [18].

Програмне керування дискретним переміщенням каретки і вимірюванням вертикальної відстані до ґрунту лазерним далекоміром вимірює мікрорельєф в автоматичному і напівавтоматичному режимах. В автоматичному режимі вмикається живлення електронного блоку, ноутбука і далекоміра [18].

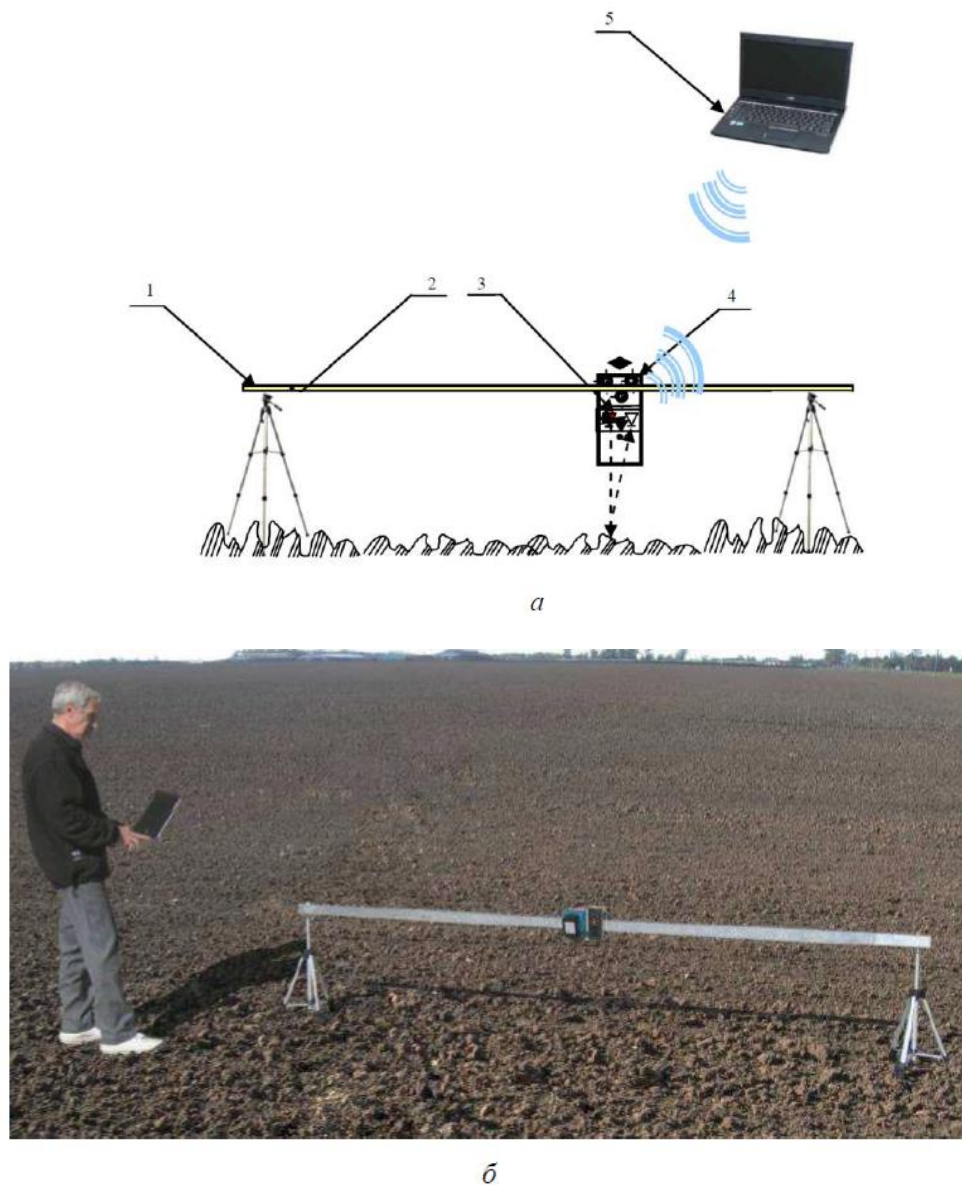


Рис. 1.7. Вимірювач мікрорельєфу ґрунту (а – структурна схема, б – фрагмент проведення досліджень): 1 – рейка; 2 – штативи з можливістю регулювання за висотою; 3 – датчик відстані; 4 – каретка; 5 – ноутбук [18].

Розташована на початку координатної рейки каретка починає функціонувати. У цей період завантажується комп'ютерна програма на ноутбучі і з'являється вікно для управління нею. Натискається вкладка "старт" у вікні комп'ютерної програми. Каретка починає рухатися по рейці, використовуючи електродвигун. Досягнувши першого маркера, що визначається датчиком індукції, рухома каретка призупиняється. Використовуючи канал Bluetooth, електронний блок повідомляє в ноутбук інформацію про те, що досяг першого

маркера. Таким чином, ноутбук забезпечує опитування далекоміра щодо виконання виміру відстані від датчика до ґрунту, далі передається інформація електронним блоком для подальшого руху рухомої каретки за допомогою електродвигуна до наступного маркера. Розглянутий цикл повторюватиметься доти, доки рухома каретка не досягне останньої мітки на іншому кінці рейки.

Зазначається, що в технологічному процесі заміру мікрорельєфу поверхні поля розробленим вимірювачем задіяний один фахівець, а за відомою методикою, згідно з ДСТУ 20915, беруть участь два фахівці [18].

У Чеському університеті 2007 року П. Шаржец та інші розробили лазерний профілограф для заміру профілю поверхні ґрунту в галузі сільського господарства та ландшафтного менеджменту (рис. 1.8). Лазерний профілометр включає лазерний датчик LT3, закріплений разом із секцією керування та перетворювачем на каретці. Каретка переміщується за допомогою електромотора по алюмінієвій балці. З інтервалом 20 мм, що визначається оптичним датчиком, лазерний датчик вимірює відстань до поверхні ґрунту [18].

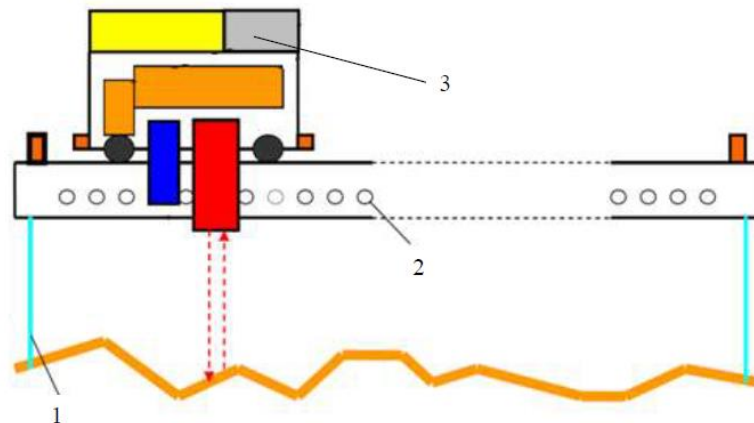


Рис. 1.8. Схема встановлення лазерного профілометра: 1 – стійки; 2 – алюмінієва балка з отворами; 3 – каретка з лазерним датчиком і блоком керування [18].

За результатами експериментальних досліджень виявлено певні особливості деяких властивостей лазерного датчика, таких як лінійність вимірювання, чутливість до кольору поверхні, а також встановлено межі вимірювання лазерного датчика [18].

Китайські вчені Х. Лі, С. Сонг у 2015 році розробили профілометр із рухомою платформою, оснащеною силовим мобільним блоком, регульованим опорним блоком, блоком візуалізації та комп'ютером (рис. 1.9). Відмінною особливістю є мобільність громіздкої платформи, оснащення камерами блоку візуалізації, а також використання графічного процесора Фермі для швидких обчислень мікрорельєфу поверхні обробленого ґрунту.

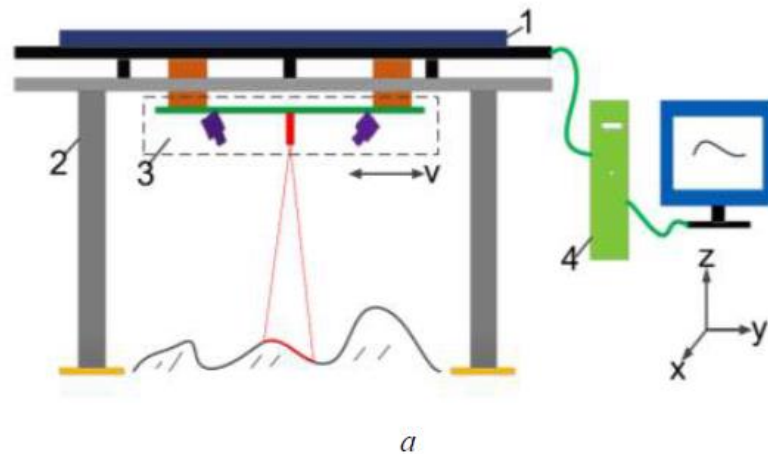


Рис. 1.9. Загальний вигляд тестера мікрорельєфу поверхні (а - наочна схема, б – у процесі вимірювання): 1 – силовий мобільний блок; 2 – регульований опорний блок; 3 – блок візуалізації; 4 – комп'ютер.

Для динамічних способів використовують конструкції контактних технічних засобів, у складі яких застосовують елементи, що копіюють: полози, котки, повідці, опорні колеса, а також безконтактні датчики.

Нами було розроблено контактний профілограф. На рис. 1.10, а наведено принципову схему установки, на рис. 1.10, б – вигляд зверху, на рис. 1.10, в – вид А.

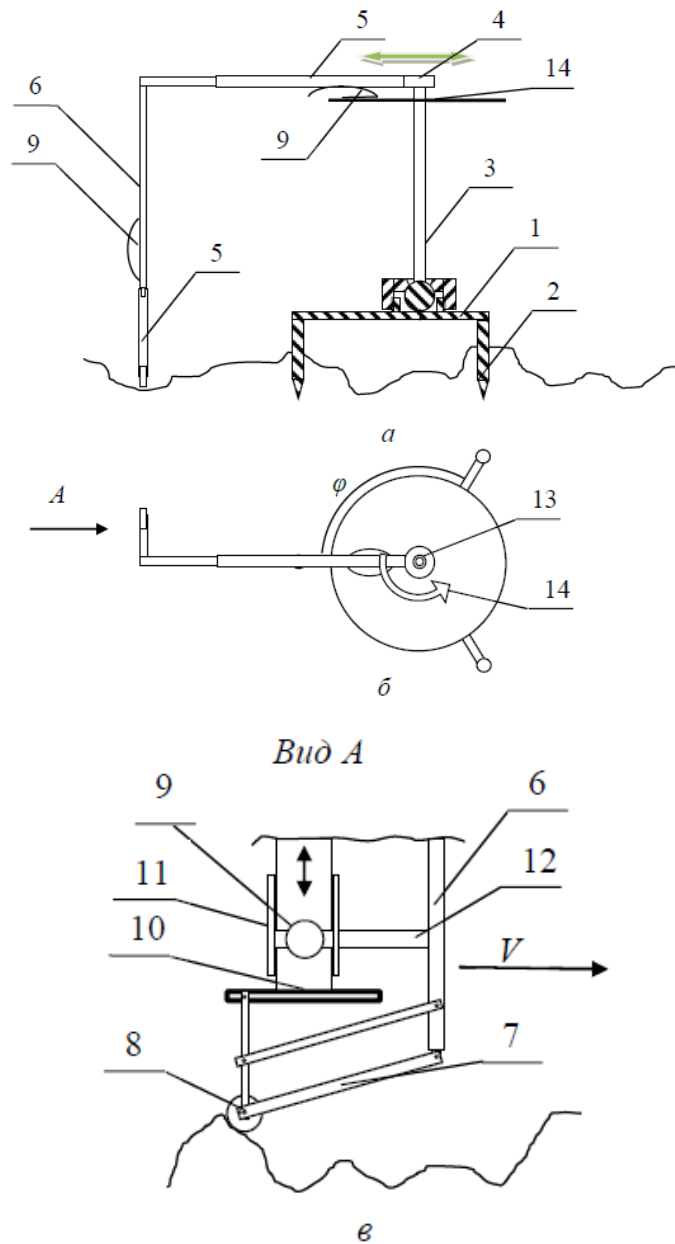


Рис. 1.10. Принципова схема контактної профілографа: 1 – рама; 2 – опори, 3 – шарнірно-фіксована вісь, 4 – підшипник кочення, 5 – телескопічне плече, 6 – стійка, 7 – поводок у вигляді паралелограма, 8 – ролик, 9 – мех.анізм зчитування вертикального переміщення ролика, що складається з датчика переміщення, жорсткої стрічки, 10 – поздовжня рамка, 11 – напрямна, 12 – кронштейн, 13 – гідравлічний рівень, 14 – диск.

Попередньо перед вимірюванням раму 1 профілографа встановлюють опорами 2 на досліджуваній ділянці, а за допомогою рівня 13 знаходять вертикальне положення осі 3 і фіксують його (рис. 1.10). Виставляють виліт телескопічного плеча 5 залежно від величини нерівностей поверхні елементарної площадки поля. Виліт залежить від виду обробітку ґрунту і типу ґрунту, наприклад, після оранки - виліт більший, обробіток ґрунту під посів - виліт менший тощо (рис. 1.11). Таким чином, є можливість установити певний радіус траєкторії руху ролика й отримати необхідну базову довжину, яка має бути такою, щоб у її межах знаходилося близько п'ятдесяти перетинів профілю із середньою лінією.



Рис. 1.11. Загальний вигляд контактного профілографа.

Контактний профілограф взаємодіє із поверхнею ґрунту за допомогою ролика, діаметр якого становив 2 см, унаслідок чого абсолютна похибка вимірювання для одержуваних даних досягала ± 24 мм, а в середньому - 6...9 мм. Максимальні значення помилок приладу виникали, коли поводок торкався брел, а ролик відривався від поверхні землі.

І.М. Кіреєв і З.М. Коваль запропонували вимірювальний технічний засіб для вимірювання глибини обробітку ґрунту, який містить датчик кута повороту та датчик вимірювання пройденого шляху (рис. 1.12). Є можливість подальшого опрацювання результатів вимірювань зі збереженням отриманих даних на електронному зберігачі.



Рис. 1.12. Загальний вигляд вимірювача глибини обробки ґрунту ІІІ-279.

Зазначається, що вимірювач глибини обробки ґрунту ІІІ-279 дає змогу враховувати вплив мікрорельєфу оброблюваної ділянки поля та встановлювати технологічні режими обробки ґрунту машинно-тракторними агрегатами, наприклад, добирання швидкісних режимів ґрунтообробних знарядь для отримання необхідних агротехнічних показників якості.

Також із застосуванням безконтактних датчиків реалізуються різні підходи щодо динамічного контролю глибини обробки ґрунту для отримання оперативної інформації щодо його рівномірності в межах поля.

Відома система реалізована за допомогою терміналу для моніторингу машинно-тракторних агрегатів, датчика глибини обробки ґрунту та програмного забезпечення "Агронавт" (рис. 1.13).

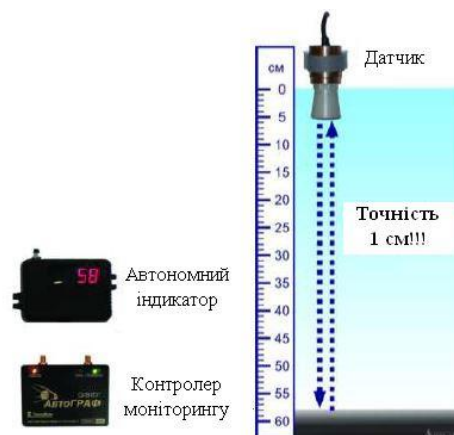


Рис. 1.13. Технічний засіб для вимірювання глибини обробки.

У пристрої використовується ультразвуковий радар-датчик, який визначає відстань від корпусу сільськогосподарської машини до поверхні землі. Датчик застосовується для визначення глибини обробітку ґрунту на різних операціях.

Ломакін В.С. і Якушев В.В. запропонували пристрій для визначення якості обробітку ґрунту ґрунтообробною машиною. Він дає змогу забезпечити безперервний автоматизований контроль якості обробітку ґрунту ґрунтообробною машиною в сучасних технологіях точного землеробства. Пристрій (рис. 1.14) містить координатну рейку 1, нерухомі лазерні датчики відстаней 2 у заданих точках вимірів, шарнір 3, гіроскоп 4, що підтримує постійно горизонтальне положення, кронштейн 5, який жорстко закріплений на рамі 6 ґрунтообробної машини. Система також має бортовий комп'ютер і навігатор, розташовані в кабіні трактора, що працює разом із ґрунтообробною машиною.

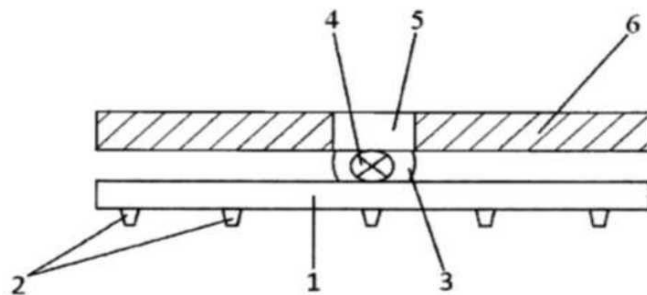


Рис. 1.14. Схема пристрою для визначення якості обробітку ґрунту ґрунтообробною машиною.

Зазначається, що технічний засіб вимірювання дає змогу знизити трудомісткість процесу вимірювання та підвищити продуктивність праці.

Для визначення іншого агротехнічного показника якості розпушування ґрунту ґрунтообробними знаряддями - подрібнення ґрунту, використовують різні способи та пристосування, які застосовують на машиновипробувальних станціях.

Розроблено й виготовлено технічний засіб вимірювання, що визначає якість кришіння ґрунту сільськогосподарськими машинами під час його обробітку. Пристрій складається з основи, каркаса, знімної частини каркаса,

фіксатора, колеса, цапфи, верхньої пружини, нижньої пружини; гайки зі шплінтом, педалі, руків'я для переміщення пристрою, руків'я для обертання каркаса та гачка (рис. 1.15).



Рис. 1.15. Пристрій для визначення кришіння ґрунту ґрунтообробними машинами (а – загальний вигляд, б – у процесі просіювання).

Зазначається, що за результатами порівняльних польових випробувань часовий період обробки проб становить 1,1...1,5 хвилини, тобто у 2 - 3 рази менше витрачається часу порівняно з існуючим ручним способом. Встановлено, що за допомогою розробленого пристрою розподіл фракцій ґрунту на відповідні решета відбувається без додаткового просіювання ґрунту через решета і загалом підвищується продуктивність праці.

Візуально визначається прямолінійність оранки. Не повинно бути помітних викривлень борозен і гребенів, особливо враховується прямолінійність першого проходу і точність виконання свального гребеня, який має бути малопомітним і прямолінійним. Прямолінійність проходу агрегату визначають шнуром, який натягують по сліду, утвореному стійкою знаряддя. Прохід вважається прямолінійним, якщо відхилення сліду від прямої лінії, позначеної шнуром, не перевищують 20 см у той і інший бік. Якщо відхилення перевищують цю величину, оцінку знижують.

Як уже було представлено вище, від того, наскільки якісно будуть виконані перші операції за технологічною картою обробки сільськогосподарської культури, залежить якість виконання операцій висівання

та садіння сільськогосподарських культур, і загалом створення сприятливих умов для зростання рослин. Нині на сільськогосподарських підприємствах значну роль в організації контролю якості обробітку ґрунту відіграють різноманітні методи та технічні засоби, що дають змогу підвищити якість визначення стану поверхні ріллі, який характеризується гребнистістю та злитістю.

Встановлені в процесі контролю прийомів обробітку ґрунту показники проставляються у відомість оцінки якості поверхневого обробітку ґрунту. У відомості обов'язково прописується обладнання: трактор, сільськогосподарська машина, наприклад, плуг із передплужником, борони, коток, бороздомір, вимірювальні лінійки, рамка для виміру брижистості, профілемір, довга рейка з розміткою через 5 см, ручна лопата, мірні ваги, решітка для підрахунку.

На невеликих сільськогосподарських ділянках для приватних і малих фермерських господарств контроль якості прийомів обробітку можна проводити вручну із застосуванням вимірювальних лінійок. Для великих сільськогосподарських територій, де реалізуються сучасні технології обробітку ґрунту, а тим паче освоюються нові підходи та прийоми ґрунтообробітку, потрібна механізація та автоматизація їхнього контролю.

З урахуванням вищевикладеного, можна сказати, що:

- для різних прийомів обробітку ґрунту, як правило, встановлюється дециметровий діапазон вимірювання показників агротехнічного контролю;
- для протиерозійних прийомів на схилових землях додатково визначається ухил оброблюваної ділянки та напрямок обробітку ґрунту;
- встановлено превалювання безконтактних методів при розробці польових профілографів для визначення морфологічних показників денної поверхні ґрунту;
- для підвищення продуктивності контролю якості прийомів обробітку ґрунту необхідно контролювати обробіток ґрунту в зазначених діапазонах із використанням сучасних і точних мехатронних технічних засобів контролю.

РОЗДІЛ 2

ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ТА ОПИС КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ПРОФІЛОГРАФА. ОБЛАДНАННЯ ТА МЕТОДИКА ПОЛЬОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Обробіток ґрунтів, розташованих на схилових землях, виконують поперек напрямку схилу за прямокутної конфігурації поля. На складних схилах механізований обробіток виконують наближено до контурів схилу - за ізогіпсами. Як правило, центр тяжіння площі поперечного перерізу пласта ґрунту має розташовуватися правіше точки опори пласта на дні борозни, для того щоб після проходу корпусів плуга пласт ґрунту не обертався назад у відкриту борозну.

Розглянемо в першому наближенні профіль борозни під час оранки плугом на схилі за різних кутів поперечного нахилу ґрунтового покриву. Будемо враховувати, що стінка борозни і сам пласт оброблюваного ґрунту в процесі оранки не змінюють свої розміри, тобто умовно не деформуються. Схеми побудови профілю борозни та обороту пласта за різних ухилів подано на рис. 2.1 (а, б, в).

Відомо, що під час обґрунтування максимальної глибини оранки використовується біквдратне рівняння.

$$k^4 - k^2 = 1, \quad (2.1)$$

$$k = \frac{b}{h} \quad (2.2)$$

де h - глибина обробітку ґрунту, м; b - ширина захвату корпусу плуга, м.

Рішенням цього рівняння є мінімальна величина k , що дорівнює 1,27. На практиці рекомендується встановлювати глибину обробітку ґрунту: за $k = 1,5$ для плуга без передплужника, для обробітку пухких ґрунтів приймають $k = 1,3$ та староорних ґрунтів - $k = 1,5...1,75$.

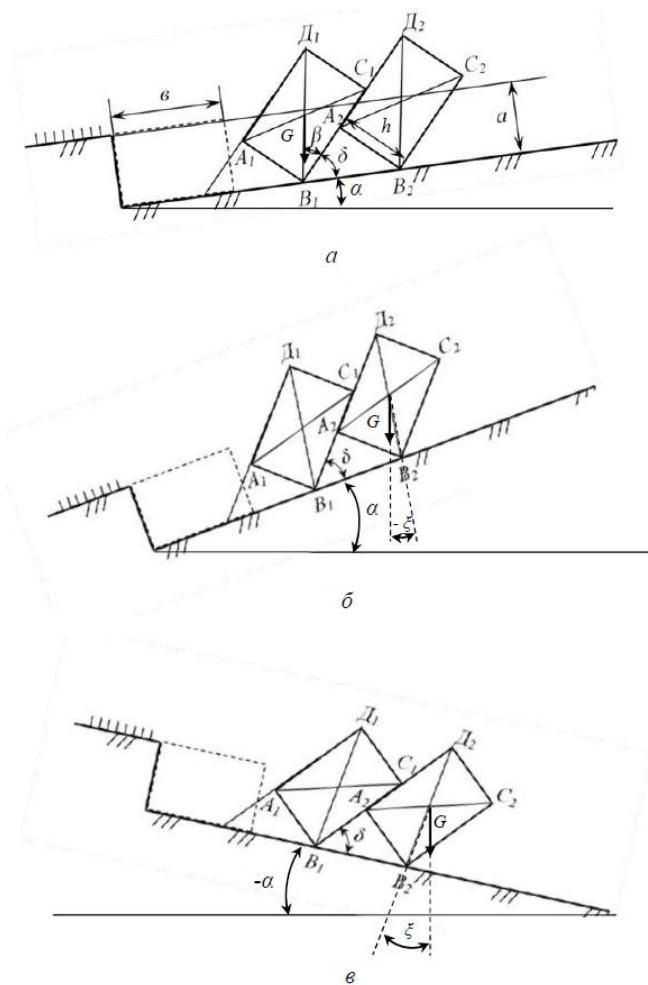


Рис. 2.1. Розрахункова схема обороту пласта на схилових землях: а - за побудови профілю борозни; б - за недостатньої оборотності; в - за зайвої оборотності

На схилових землях ці величини зміняться, згідно з розрахунковою схемою обороту пласта під час побудови профілю борозни (рис. 2.1, а), розташування діагоналі D_1B_1 є граничним, за якого пласт ґрунту може ще зберігати своє стійке положення. Критичну умову стійкості можна представити у вигляді:

$$\alpha + \delta + \beta \geq \frac{\pi}{2}, \quad (2.3)$$

$$\beta = \arctg \frac{h}{b}, \quad (2.4)$$

де α - кут нахилу ґрунтового покриву, град.; δ - кут нахилу відваленого шару відносно дна борозни, який визначається поперечним розташуванням

корпусів плуга відносно один одного, град.; β - кут, який визначається геометричними розмірами ґрунтового шару, град.

Для аналітичного дослідження формули (2.3) перетворимо її:

$$\xi = \frac{\pi}{2} - \alpha - \delta - \beta. \quad (2.5)$$

Отримаємо математичну модель оборотності ґрунтового пласта на схилі землях. За умови, згідно з виразом (2.5), якщо:

- 1) $\xi = 0$, то маємо граничне стійке положення ґрунтового пласта;
- 2) $\xi > 0$, то центр ваги поперечного перерізу ґрунтового пласта перейшов точку початку стійкого положення і розташовується надійно, спираючись на сусідній пласт;
- 3) $\xi < 0$, то центр ваги поперечного перерізу ґрунтового пласта під час обороту не дійшов до точки початку стійкого положення і, не виконавши достатнього обороту, сповзає по сусідньому відваленому пласту.

Попередньо проаналізувавши математичну модель оборотності ґрунтового пласта на схилі землях, наведемо графічні залежності за виразом (2.5) для характерних умов (рис. 2.2, 2.3 і 2.4).

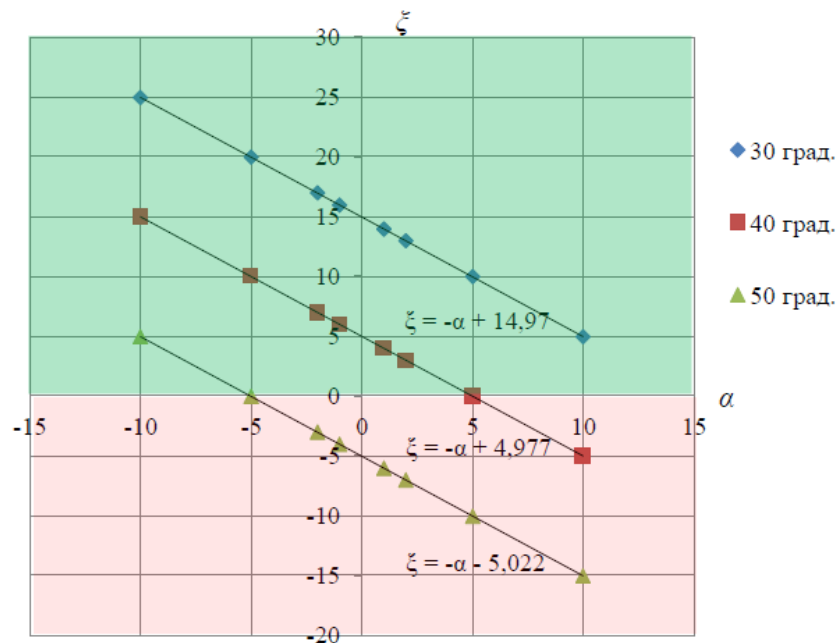


Рис. 2.2. Графік залежності ξ від α за умови $k=1$ ($h=0,35$ м)

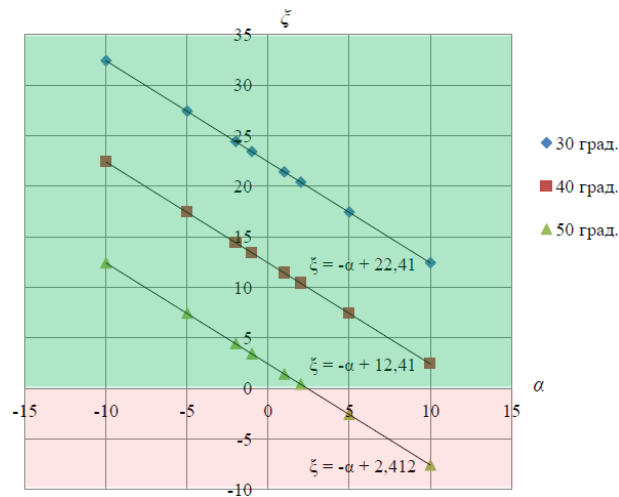


Рис. 2.3. Графік залежності ζ від α за умови $k=1,3$ ($\alpha=0,27$ м)

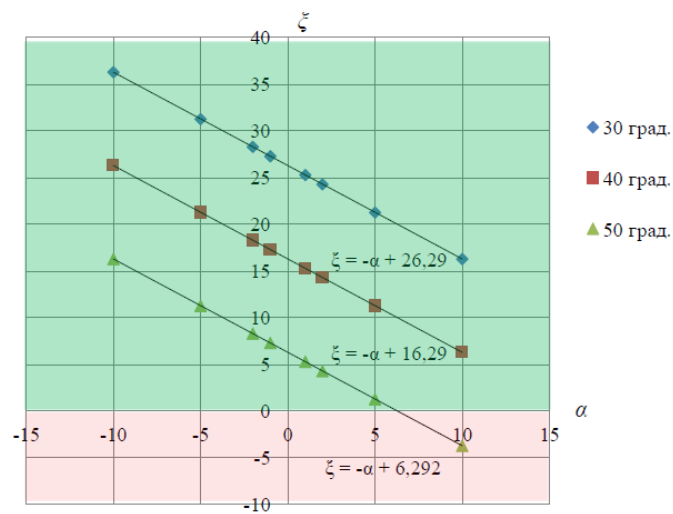


Рис. 2.4. Графік залежності ζ від α за умови $k=1,5$ ($\alpha=0,22$ м)

З отриманих графічних залежностей видно, що за кута нахилу відваленого пласта відносно дна борозни δ , який визначається поперечним розташуванням корпусів плуга один відносно одного, понад 45...50 градусів глибокий обробіток ґрунту (0,25...0,30 м) на схилових землях стає неефективним, тому що не забезпечується стійке положення пласта та порушується технологічний процес його обороту в цілому. У цьому разі, як правило, рекомендується використовувати передплужники для повного обертання пласта і зниження питомого опору плуга.

Виявити порушення виконання технологічного процесу обробітку ґрунту можна в результаті визначення агротехнічних показників технічними засобами

контролю та порівняння їх із допустимими значеннями згідно з агротехнічними вимогами.

Для визначення агротехнічних показників основного та передпосівного обробітку ґрунту пропонується спосіб вимірювання профілю поверхні ґрунту по колу або спіралі за допомогою лазерного профілографа. Технічний засіб для реалізації способу вимірювання профілю поверхні ґрунту по колу представлено на рис. 2.5 [17].

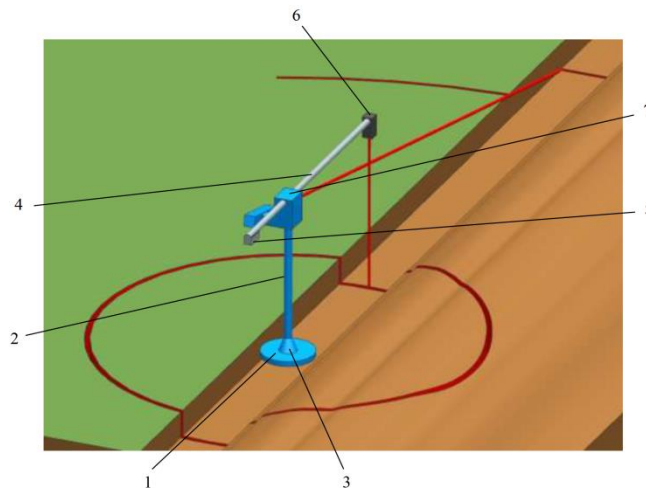


Рис. 2.5. Принципова схема застосування профілографа для визначення профілю поверхні ґрунту [17].

Пристрій включає важку підставу 1 з гострими шпильками для надійного встановлення на "денній" поверхні обробленого (необробленого) ґрунту. На основі за допомогою підшипника ковзання встановлено стрижень 2, який має можливість обертання. У нижній його частині розміщується датчик-енкодер 3. На верхній частині стрижня 2 закріплено плече 4 і противагу 5 з можливістю зміни її вильоту відносно осі стрижня 2. Лазерний датчик 6 розміщується на плечі 4 з, причому початкове положення датчика 6 відносно досліджуваної поверхні можна змінювати за допомогою рухомого стрижня (див. рисунок 1). Для строго вертикального встановлення профілографа використовується рівень 7. На стійці розміщено далекомір, що забезпечує вимірювання прямолінійності оранки [17].

Пристрій працює таким чином. Під час контролю якості обробітку ґрунту на агроландшафтах у польових умовах технічний засіб профілювання встановлюють у відкриту борозну, що розмежовує необроблену й оброблену ділянку поля, яка утворюється після проходу машинно-тракторного агрегату. Визначають по колу профіль поверхонь необробленої ділянки, борозни й обробленої ділянки. Виконуючи один оберт, лазерний датчик положення сканує поверхню ґрунту, з нього інформація передається до електронного блоку обробки сигналів і далі до ноутбука. За отриманими даними – залежності відстані від датчика відстані до денної поверхні ґрунту від кута повороту енкодера визначають [17]:

- глибину оранки та її рівномірність;
- методом ковзного середнього встановлюють величину глибистості та гребнистості поверхні ріллі;
- за рівняннями регресії для ліній найбільшого нахилу на необробленій та обробленій ділянці поля висоту нерівностей денної поверхні ґрунту й грудкуватість;
- нахил денної поверхні ґрунту а ділянки поля та коефіцієнт спущеності;
- прямолінійність (відхилення від прямолінійності) оранки шляхом вимірювання кута відхилення борозни далекоміром на заданій відстані довжини гону [17].

Застосування інструментального підходу забезпечує підвищення точності контролю якості обробітку ґрунту на агроландшафтах у польових умовах.

Технічний засіб для реалізації способу вимірювання профілю поверхні ґрунту по спіралі розроблено з урахуванням недоліків відомого безконтактного профілографа. До цих обмежень можна віднести такі [17]:

- сканування виконується тільки по колу;
- відсутня конструктивна можливість вимірювати параметри поверхні по всій досліджуваній площі та задавати різну траєкторію переміщення лазерного датчика над поверхнею.

Пристрій містить масивну основу 1 для встановлення на поверхню ґрунту (рис. 2.6). На основу 1 встановлено стрижень 2. На верху стрижня закріплені рівень 3, кутовий датчик 4 і перпендикулярно рухоме плече 5 з протизагою 6 з одного боку. На іншій стороні плеча 5 розміщено лазерний датчик положення 7, використовуючи гвинтовий механізм 8, каретку 9 і електродвигун 10. Це дасть змогу змінювати початкове положення датчика положення 7 уздовж радіуса. У нижній частині стрижня 2 розміщено електродвигун 11. Крутний момент, використовуючи циліндричну передачу 12, передається на обертання рухомого плеча 5. На стрижні також закріплений електронний блок для оброблення сигналів 13. До нього під'єднані кабелі від датчиків 4 і 7, електродвигунів 10 і 11, ноутбука 14. Ноутбук має інформаційну систему вимірювання та комп'ютерне керування для узгодженого функціонування електродвигунів 10 та 11 [17].

Пристрій працює за таким алгоритмом. Спочатку мехатронний профілограф встановлюють по центру облікового майданчика. Виставляють строго горизонтально за рівнем 3 плече 5, обертаючи його по колу. У вихідному положенні лазерний датчик 7, розміщений на каретці 9, має бути переміщений на периферію облікового майданчика. Від ноутбука 14 електричне живлення подається на датчики кута, положення та електродвигуни [17].

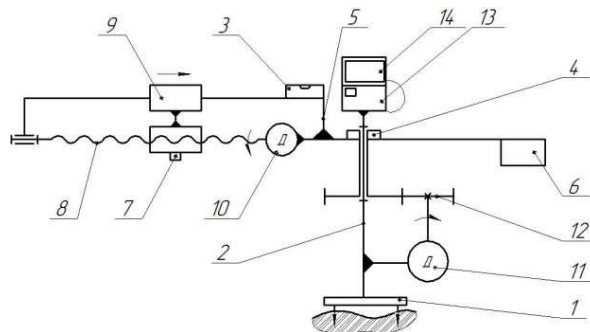


Рис. 2.6. Принципова схема мехатронного профілографа [18].

Запускаємо комп'ютерну програму на ноутбуці 14 для функціонування інформаційної системи вимірювання та комп'ютерного керування. Починає роботу електродвигун 11, який передає крутний момент за допомогою циліндричної передачі 12 для повільного обертання рухомого плеча 5 навколо установки. Датчик положення 7, виконуючи перший оберт, просканує поверхню

обробленого ґрунту по периферійному колу облікового майданчика і передасть дані в ноутбук 14, використовуючи електронний блок 13 [17].

У ноутбучі 14 інформація про профіль аналізується інформаційною системою вимірювання і задається комп'ютерним управлінням, відповідно до завдань дослідження, траєкторія переміщення лазерного датчика 7 над поверхнею досліджуваної площі, наприклад, за траєкторією у вигляді спіралі [17].

Так комп'ютерне управління узгоджено задіює електродвигуни 10 і 11, що передають крутний момент для повільного переміщення в радіальному напрямку каретки 9 і лазерного датчика 7 за допомогою гвинтового механізму 8 і обертання рухомого плеча 5 навколо основи 1 через циліндричну передачу 12.

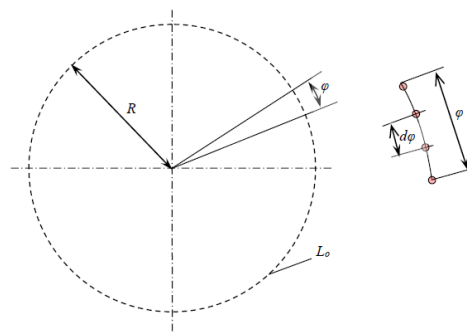


Рис. 2.7. Основні параметри сканування поверхні в плані [17].

Кутовий датчик 4 заміряє положення рухомого плеча 5 щодо основи 1. В основі роботи лазерного датчика 7 використовується принцип оптичної триангуляції. З датчиків 4 і 7 миттєві значення величин відстані та кута повороту пересилаються на ноутбук 14 через електронний блок для оброблення сигналів 13. Програма, встановлена на ноутбучі 14, дасть змогу отримати дані в полярній системі координат за 2 параметрами: величина відстані від датчика положення до поверхні обробленого ґрунту, а також кут повороту від нульової мітки, що відповідає цьому положенню лазерного датчика. У ноутбучі 14 інформація про профіль аналізується інформаційною системою вимірювання та будується профіль поверхні досліджуваної площі [17].

Пристрій є мехатронним, оскільки належить до класу машин, що базуються на використанні в них точної механіки, електроприводу, електроніки,

комп'ютерного керування. Технічний засіб для реалізації способу вимірювання профілю поверхні ґрунту по спіралі дає змогу підвищити достовірність вимірювання параметрів поверхні по всій досліджуваній площі за рахунок розширення функціональних можливостей пристрою.

Перевагою розроблених профілографів буде вимірювання з високою точністю завдяки застосуванню лазерного датчика, що забезпечує величину похибки вимірювання $\pm 0,1$ мм. Порівнюючи конструктивно профілограф із круговим скануванням з іншими пристроями, що виконують вимірювання тільки для однієї поздовжньо-вертикальної площини, можна помітити, що його габарити в 4,5-5,5 разів менші для однієї й тієї ж довжини вимірювання.

Дослідження проводилися на сільськогосподарському водозборі, що розташоване в Козятинському районі Вінницької області. Розглянута водозбірна площа з досить складними схилами, включає агроландшафти з ухилами близько 8 % і висотою розташування від 152 до 185 м. Клімат помірно континентальний із тривалою холодною зимою та теплим літом. Середньорічна кількість опадів становить близько 500 мм. Переважаючий клас ґрунтів - дерново-підзолисті з різним ступенем опідзоленості. Водозбір майже повністю оброблений, а мережа ярів, межі вододжерела та струмків - єдині ділянки, що вкриті природною рослинністю. Основними культурами є багаторічні трави (люцерна) та озимі злаки (пшениця і ячмінь).

На водозбірній площі було обрано три сільськогосподарські поля, розміри яких варіювалися від 25 га до 53 га (рис. 2.8). Досліджувані ділянки оброблялися різними способами: 1 поле - оранка з боронуванням (ПЛН-4-35+БЗТС-1); 2 поле - дискування ґрунту (БДМ-3х4П); 3 поле - зяблева оранка (ПЛН-4-35). Для основного обробітку ґрунту використовували колісний сільськогосподарський трактор і плуг лемішний навісний ПЛН-3-35.



Рис. 2.8. Фрагмент місця розташування експериментального водозбору з розподіленими контрольними полями (три сільськогосподарські ділянки).

Профілі елементарних ділянок вимірювали за допомогою розробленого наземного кругового лазерного профілометра. Елементарна ділянка - це площа, яку можна охарактеризувати одним дослідженням денної поверхні ґрунту або однією об'єднаною пробою ґрунту, згідно з ДСТУ 28168-89 "ґрунти. Відбір проб".

Для визначення основних параметрів ухилу, гребнистості та мікрорельєфу денної поверхні ґрунту для кожного способу обробітку ґрунту використовували метод ковзного середнього. Метод ковзної середньої дає змогу визначити ковзну середню, яка чисельно дорівнює середньому арифметичному значенню вихідної функції за встановлений період і визначається за виразом:

$$SMA_k = \frac{1}{n_c} \sum_{i=0}^{n-1} z_{k-i} = \frac{z_k + z_{k-1} + \dots + z_{k-n+1}}{n_c}, \quad (2.6)$$

де SMA_k - величина ковзного середнього в точці k ; n_c - кількість значень точок, отриманих під час сканування поверхні у вигляді функції для розрахунку ковзного середнього (інтервал усереднення); z_{k-1} - величина отриманої функції в точці $k-1$.

У способі визначення агротехнічних показників під час контролю якості обробітку ґрунту на агроландшафтах у польових умовах застосовується

технічний засіб профілювання денної поверхні ґрунту з розміщеним на ньому далекоміром (рис. 2.9). Його встановлюють в утворену відкриту борозну після проходу машинно-тракторного агрегату. У процесі вимірювання визначають по колу профілі поверхонь необробленої ділянки, борозни й обробленої ділянки.

За отриманими даними визначають глибину оранки та її рівномірність, застосовуючи метод ковзного середнього для масиву даних, встановлюють величину глибистості та гребнистості поверхні ріллі. За рівняннями регресії отриманими за даними вздовж ліній найбільшого нахилу на необробленій і обробленій ділянках поля, розраховують ухил денної поверхні ґрунту ділянки поля. Визначають коефіцієнт спущеності використовуючи дані про глибину оранки, тобто величину відстані від поверхні необробленого ґрунту до рівня заглиблення в ґрунт робочих органів.



Рис. 2.9. Польова установка на відкритій борозні

Прямолінійність оранки визначають шляхом установаження далекоміра над стінкою борозни на регульованій відстані від стійки профілографа. Відстань від стійки профілографа до стінки борозни в горизонтальній площині визначають за виразом, з огляду на радіус профілювання по колу та кут, за якого стався стрибок даних, який визначає стінка борозни, встановлений під час профілювання по колу.

Повертаючи його в поздовжньо-вертикальній площині та навколо стійки, вимірюємо кут відхилення борозни на заданій відстані довжини гону у γ_n , за якого відбулася стрибкоподібна зміна даних, визначувана стінкою борозни на

заданій відстані, і розраховуємо відхилення від прямолінійності оранки у відсотках (рис. 2.10).



а)



б)

Рис. 2.10. Визначення прямолінійності оранки: а) напрямок далекоміра вздовж борозни, б) перевірка рівня встановлення приладу

Розроблено спосіб визначення профілю денної поверхні ґрунту по колу для встановлення агротехнічних показників денної поверхні обробленого ґрунту на елементарній площадці в польових умовах для проведення експериментальних досліджень на схилі землях та профілограф для його здійснення (рис. 2.11).



Рис. 2.11. Загальний вигляд профілографа на ріллі

Пристрій містить основу з гострими шпильками для надійного встановлення на "денній" поверхні обробленого (необробленого) ґрунту. На основі за допомогою підшипника ковзання встановлено стрижень, який має можливість обертання. У нижній його частині розміщується датчик-енкодер. На верхній частині стрижня закріплено плече та противагу з можливістю зміни її вильоту відносно осі стрижня. Лазерний датчик розміщується на плечі, причому

початкове положення датчика щодо досліджуваної поверхні можна змінювати за допомогою рухомого стрижня. Для строго вертикального встановлення профілографа використовується рівень. На стійці розміщено далекомір, що забезпечує вимірювання прямолінійності оранки.

Визначають по колу профіль поверхні обробленої ділянки поля. Виконуючи один оберт, лазерний датчик положення сканує поверхню ґрунту й передає інформацію в електронний блок обробки сигналів (рис. 2.12). За отриманими даними – залежності відстані від датчика відстані до денної поверхні ґрунту від кута повороту енкодера - визначають мікрорельєф ґрунту.



Рис. 2.12. Фрагмент визначення грудкуватості ґрунту: а) промінь лазерного датчика спрямований на грудку; б) лазерний промінь проектується на грудці.

Розглядаючи відомі способи визначення стоку води зі схилів змитості ґрунту, можна виділити такі методи. Наприклад, у підході Бобровицької Н.Н. визначають водозбір улоговини стоку, що є цілим елементом гідрографічної системи, визначають характерні ділянки струмків типу I-III відповідно до зміни поздовжнього та поперечного ухилів, експозиції схилів улоговини та виконують вимірювання характеристик маси та швидкості течії води, глибини, ширини та поперечного перерізу струмків і в способі, що базується на побудові ліній течії (тальвега), які виходять із вузлів регулярної прямокутної сітки в межах вихідної цифрової моделі рельєфу, та подальшому аналізі проходження побудованих ліній через комірочки результуючої регулярної сітки, можна виокремити головний

їхній недолік. У зазначених способах визначення ліній струму (тальвегу) відбувається тільки аналітичним методом за цифровою моделлю рельєфу або за топографічною картою, оскільки її будують із певною похибкою залежно від методу її формування, точність одержуваного тальвегу буде невисокою. Як використовувані матеріали застосовують фотознімки, топоплани, топокарти, схему водозбору, отриману маркуванням ліній вододілу в періоди стоку, з фотознімку під час визначення ліній вододілу зазвичай використовують аерофотознімки масштабу 1:25000, 1:10000, 1:5000, які, хоч і володіють певною оглядовістю та детальністю, але рівень точності досягає тільки суб-дециметрового діапазону.

Для реалізації способу профілювання денної поверхні ґрунту на обліковому майданчику в польових умовах як технічний засіб профілювання денної поверхні використовують профілограф із можливістю сканування поверхні по колу з точністю до 1 мм за вертикаллю. У методі заміряють профіль денної поверхні ґрунту по колу, що обмежує верхній осередок за досліджуваним схилом, за профілем у полярній системі координат визначають напрямок схилу та знижені ділянки, встановлюють розташування тальвегу, причому нижня точка профілю буде розташовуватися на тальвезі та буде точкою зіткнення з наступним осередком у вигляді кола, розташованого нижче за досліджуваним схилом, для якого також встановлюють розташування тальвегу та його нижню точку.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОФІЛОГРАФА В ПОЛЬОВИХ УМОВАХ

Використовуючи метод ковзного середнього, заміряні дані усереднили за різною кількістю значень точок, отриманих під час сканування поверхні, у вигляді функції для розрахунку ковзного середнього від 2 до 1500 і вибрали - 10, 500 і 1000 для визначення основних морфологічних параметрів поверхні. Для визначення мікрорельєфу, гребнистості та нахилу поверхні за заміряними даними обчислюємо ковзаючу середню з кількістю періодів, що дорівнює 10, 500 і 1000 відповідно за такими виразами:

$$SMA_{10} = \frac{z_k + z_{k-1} + \dots + z_{k-9}}{10}, \quad (3.1)$$

$$SMA_{500} = \frac{z_k + z_{k-1} + \dots + z_{k-499}}{500}, \quad (3.2)$$

$$SMA_{1000} = \frac{z_k + z_{k-1} + \dots + z_{k-999}}{1000}. \quad (3.3)$$

Використовуючи отримані вирази (3.1), (3.2) і (3.3), побудуємо функцію ковзної середньої цих параметрів на графіку профілю денної поверхні обробленого ґрунту. Мікрорельєф поверхні для елементарної площадки за виразом (3.1) становив 5,1 мм (рис. 3.1). Гребнистість поверхні утворена технологічними борознами, за виразом (3.2), висота яких - 21,9 мм (рис. 3.2), а, використовуючи формулу (3.3), нахил елементарної площадки становив 0,056, або 3,2 градуса (рис. 3.3).

Залежність значень визначуваних величин від довжини профілю є наслідком багатомасштабного характеру мікрорельєфу поверхні. Мікротопографія поверхні складається із суперпозиції компонентів ґрунту зі змінними частотами. Таким чином, короткі ділянки профілю поверхні не можуть відображати ті низькочастотні складові мікрорельєфу, які помітні лише тоді, коли профілі досить довгі. Для того щоб порівняти ці значення внаслідок

поведінки масштабування між різними профілями та різними способами обробітку ґрунту, було розраховано базову довжину за кількістю заміряних точок для кожного морфологічного параметра.



Рис. 3.1. Графік функції фактичного профілю поверхні обробленого ґрунту з усередненням для визначення його мікрорельєфу.

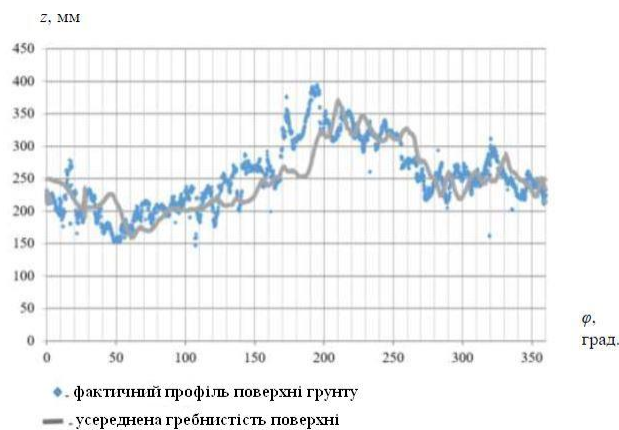


Рис. 3.2. Графік функції фактичного профілю поверхні обробленого ґрунту з усередненням для визначення його гребенистості.



Рис. 3.3. Графік функції фактичного профілю поверхні обробленого ґрунту з усередненням для визначення його нахилу.

Для визначення оптимальної базової кількості точок виміру під час визначення мікрорельєфу та гребнистості поверхні по колу використовували сегментний метод, тобто кількість фактичних точок, отриманих по колу в розмірі 9616, зменшували в розрахунках поступово. Таким чином, отримали залежності зміни розрахункової величини мікрорельєфу Δ і гребнистості w від кількості точок виміру по колу (рис. 3.4 і 3.5).

За наведеними графіками можна спостерігати, що отримані значення мікрорельєфу та гребнистості поверхні обробленого ґрунту суттєво залежать від довжини досліджуваного профілю, що визначається кількістю замірів n . За один оберт приладу було отримано 9616 точок даних на довжині профілю 6,3 м, приблизно на 2 мм виконується 3 виміри. Видно, що розрахункові нерівності поверхні варіюється від 2 мм до 6 мм, а розрахункова гребнистість - 16...28 мм. У міру збільшення довжини профілю, що заміряється (від 1000 до 5000 точок), параметри розрахункової величини мікрорельєфу та гребнистості спочатку різко збільшуються, а потім коливаються навколо асимптотичного значення, прийнятого за істинне значення – 5,1 мм і 21,9 мм відповідно.

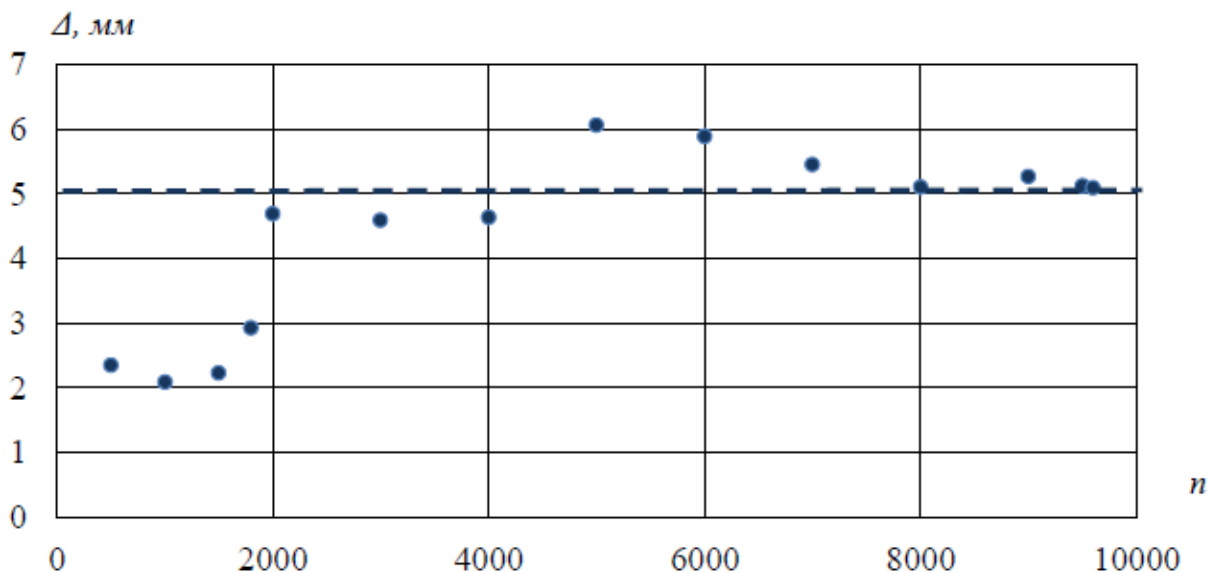


Рис. 3.4. Зміна розрахункової величини мікрорельєфу від кількості точок виміру по колу.

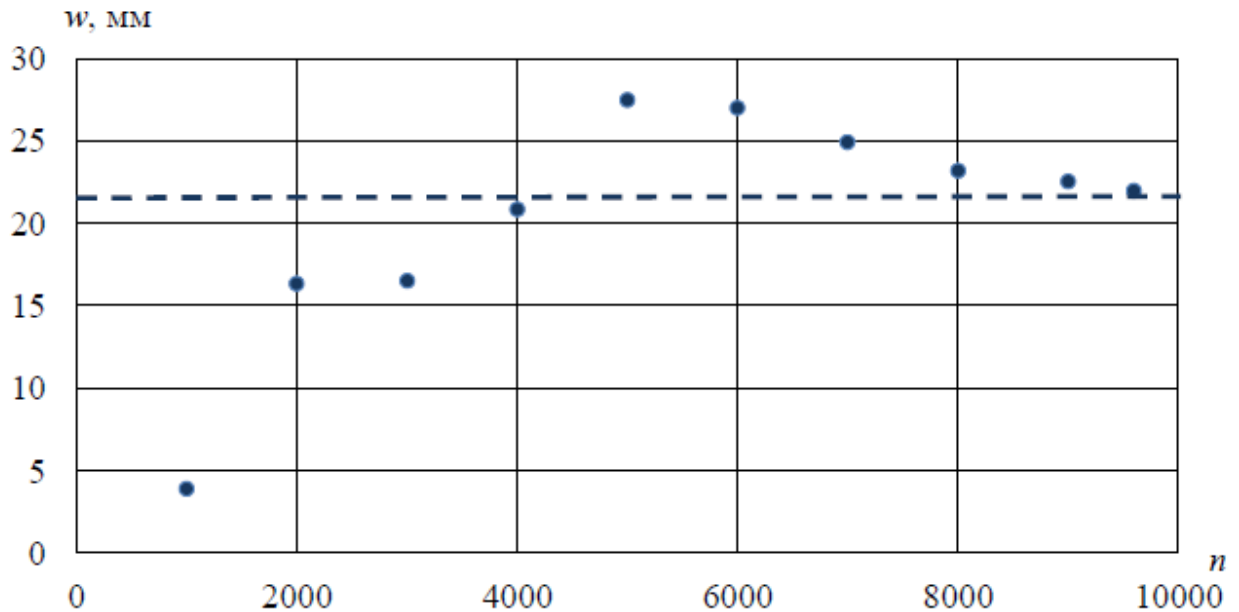


Рис. 3.5. Зміна розрахункової величини гребнистості від кількості точок виміру по колу.

За довжини вимірюваного профілю по колу близько 1,3 м і менше (менше ніж 2000 точок) параметри обробленого покриву ґрунту сильно недооцінюються, причому помилка більша для зораного ґрунту, ніж для проборонуваного. На рівних поверхнях базова довжина профілю в 2,5 м за повороту приладу на кут 150...180 градусів може бути достатньою для адекватного розрахунку параметрів денної поверхні ґрунту. Це можна пояснити відсутністю низькочастотних складових мікрорельєфу на вирівняних поверхнях. Аналогічні результати були отримані Taconet і Ciarletti, які оцінювали вплив розміру грудок на точність кількох параметрів мікрорельєфу за допомогою фотограмметричних спостережень для зораного ґрунту та посівів сільськогосподарських культур.

Таким чином, на підставі результатів, отриманих під час цього дослідження, можна зробити кілька висновків:

1. Ґрунтообробні операції суттєво впливають на величину та мінливість параметрів денної поверхні ґрунту. Зорана поверхня показала не тільки високі значення мікрорельєфу та гребнистості, але також і їхню велику мінливість, яку слід враховувати під час контролю операцій обробітку ґрунту та моделювання

гідрологічних процесів на схилових землях, застосовуючи метод ковзного середнього.

2. Точність отриманих значень мікрорельєфу і гребнистості поверхні обробленого ґрунту істотно залежить від довжини досліджуваного профілю, що визначається кількістю замірів.

3. На рівніших поверхнях після боронування базова довжина профілю в 2,5 метра може бути достатньою для адекватного розрахунку основних параметрів денної поверхні ґрунту.

Вищенаведене дає змогу рекомендувати метод ковзного середнього для оцінювання морфологічних параметрів денної поверхні обробленого ґрунту; у процесі контролю встановлювати базову довжину профілю понад 2,5 метри для підвищення точності отримуваних значень.

Для відкритої борозни ріллі на схилі, сформованої агрегатом МТЗ-82 і ПЛН-3-35, визначили агротехнічні показники якості оранки ґрунту в польових умовах, згідно з даними, що подано на рис. 3.6. На рис. 3.7 подано експериментально отримані дані в декартовій системі координат.

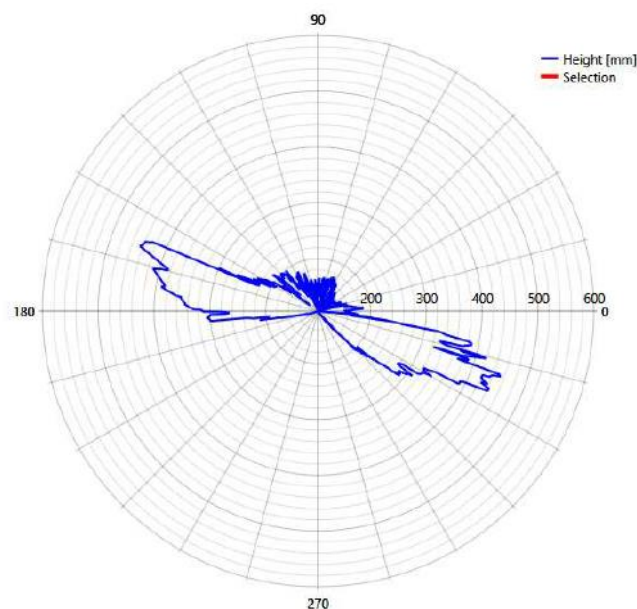


Рис. 3.6. Отримані дані про поверхню відкритої борозни в полярних координатах: кут повороту та відстань до ґрунту.

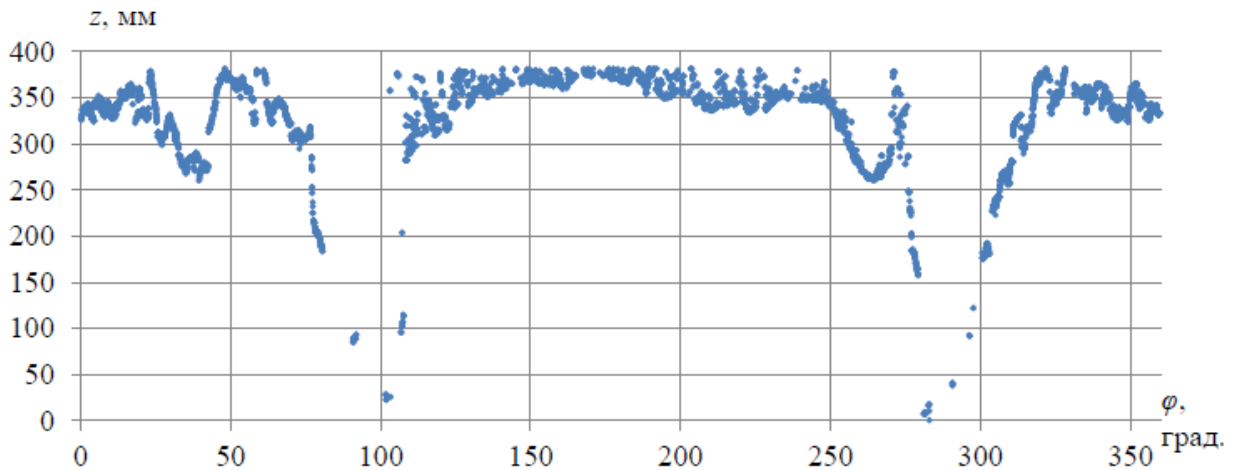


Рис. 3.7. Отримані дані про поверхню відкритої борозни оранки в декартових координатах.

З аналізу отриманих даних (рис. 3.7) випливає, що максимальні значення глибини обробітку ґрунту розташовуються за розгорткою на 103,3 і 283,1 градусах. Використовуючи виміряні величини, розрахували агротехнічні показники: глибина борозни становить 257...266 мм, поздовжній ухил (за відкритою борозною) - 0,68...0,74 градусів, поперечний ухил - 3,77...3,82 градусів, коефіцієнт спушеності - 1,43...1,59, прямолінійність оранки (відхилення від прямолінійності на 100 м гону) становила 98 мм. Відносне відхилення середньої глибини оранки від заданої становило: -4,8 %/ -1,5 %, за агро вимогами ± 10 %.

Таким чином, з аналізу результатів випливає, що характерної плужної підшви не видно, тільки кілька точок на дні борозни. Це свідчить про те, що ґрунт осипався внаслідок установа на плузі великої глибини його обробітку, сповзаючи по сусідньому пласту, тобто сформувалися умови за 3 варіантом математичної моделі. Водночас за ухилами видно, що дотримується умова контурного обробітку схилів. Розкид даних зумовлений не похибкою приладу, а варіабельністю одержуваних даних у досить великій кількості по досліджуваній ділянці.

Польові дослідження виконували на різних агрофонах схилових земель з ухилом до 6 градусів, особливо після зяблевої оранки (рис. 3.8.).

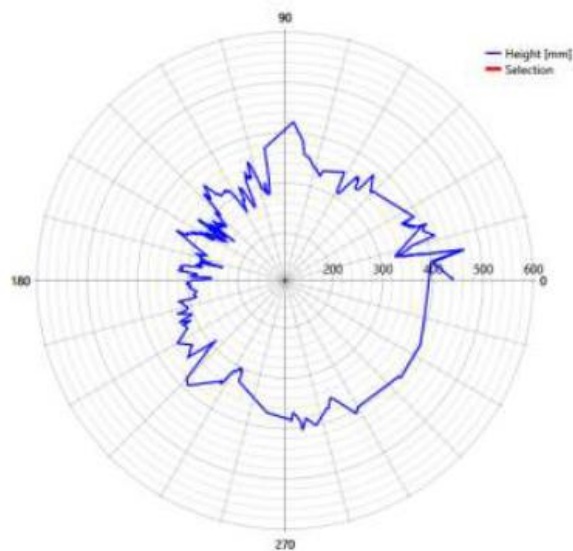


Рис. 3.8. Отримані дані про поверхню зораного ґрунту в полярних координатах: кут повороту та відстань до ґрунту.

Результати роботи програмного засобу наведено на рис. 3.9 і 3.10.

За результатами, отриманими за допомогою розробленого програмного засобу, встановлено, що кут відхилення проекції лінії найбільшої зміни висоти (за якою вимірюється ухил) від напрямку руху обробної техніки становить $\alpha = -32,4$ та ухил досліджуваної ділянки складає 4,8 градуси, а у кількісному розподілі за розмірами переважають агрегати 1-4 сантиметрів у діаметрі, тобто забезпечується подрібнення. Середньозважений діаметр грудок становив 4,07 см, а середньоквадратичне відхилення - 5,05 см.

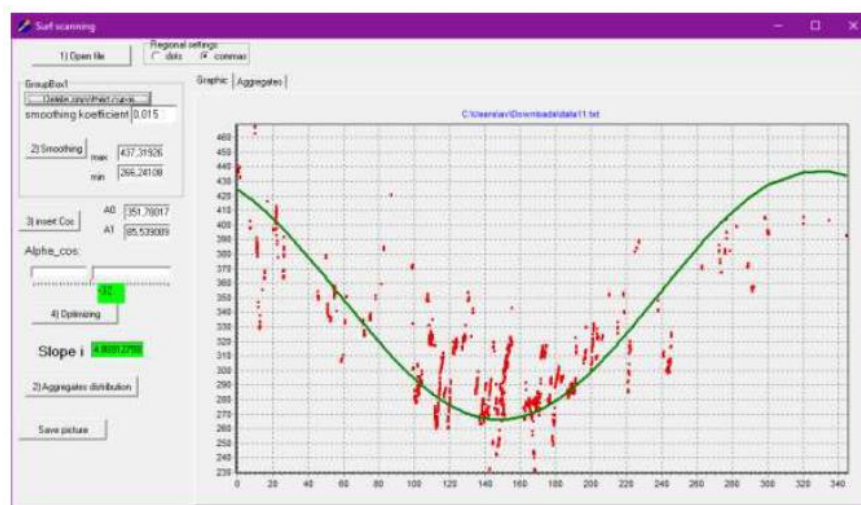


Рис. 3.9. Результати роботи програмного засобу з представленням розгортки за кутами та висотою.

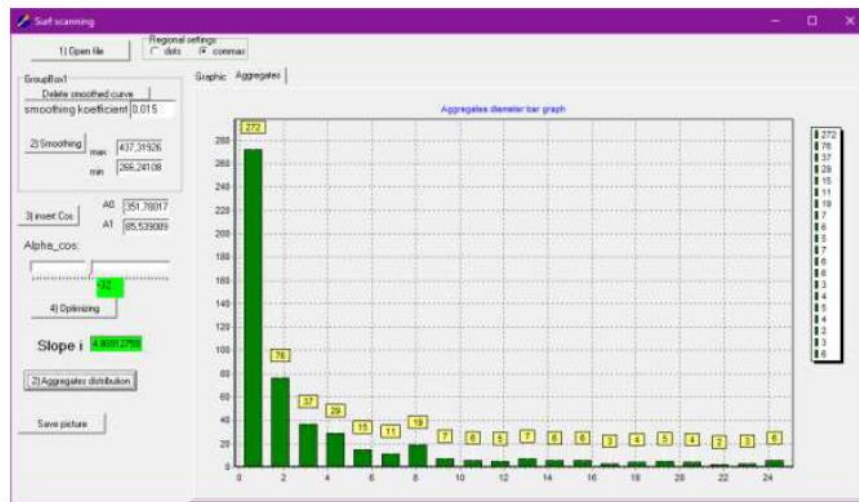


Рис. 3.10. Результати роботи програмного засобу з уявленням про розподіл розмірів грудок на ділянці.

Кришіння ґрунту, яке оцінювали за часткою грудок діаметром понад 5 см, становило 21,9 %. Для зяблевої оранки це допустимо. За агротехнічними вимогами для ріллі кришіння ґрунту має бути в межах 10...15 %.

На підставі результатів, отриманих під час дослідження доцільності використання пропонованого методу, можна зробити кілька висновків:

1. Ґрунтообробні операції суттєво впливають на величину та мінливість параметрів денної поверхні ґрунту. Зорана поверхня показала не тільки високі значення глибистості, але також і їхню велику мінливість, яку слід враховувати за контролю операцій обробітку ґрунту на схилових землях, застосовуючи метод ковзного середнього.

2. Кут між борознами обробленого ґрунту та напрямком схилу суттєво впливає на стік опадів на схилових землях, він становив для елементарної ділянки ріллі 32,4 градуса, а сам ухил встановлено у розмірі 4,8 градуса.

3. На ріллі необхідно розглядати не тільки глибистість і грудкуватість (подрібнення), а й повний структурний розподіл грудок за розмірами, у конкретному випадку в кількісному розподілі за розмірами переважають агрегати 1-4 сантиметрів у діаметрі. Середньозважений діаметр грудок становив 4,07 см.

Дослідження проводилися на сільськогосподарському водозборі, що розташоване в Козятинському районі Вінницької області. Як технічний засіб профілювання денної поверхні використовували профілограф з можливістю сканування поверхні по колу з точністю до 1 мм по вертикалі. За допомогою профілографа заміряли профіль денної поверхні ґрунту по колу, що обмежує верхній осередок на досліджуваному схилі, за яким у полярній системі координат визначали напрямок схилу та знижені ділянки в точках А та В, встановили розташування тальвегу АВ (рис. 3.11).

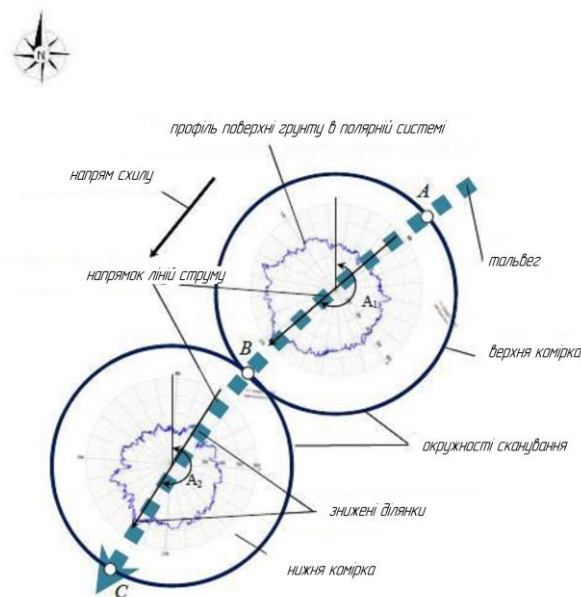


Рис. 3.11. Схема реалізації способу визначення тальвегу на агроландшафтах схилених земель (у плані).

Нижня точка В заміряного профілю верхнього осередку розташовувалася на тальвегу АВ і була точкою зіткнення верхнього осередку з наступним осередком у вигляді кола, розташованого нижче за досліджуваним схилом, для якого також встановлювалися розташування тальвегу ВС і його нижня точка С.

Для розрахунку азимута тальвега на розглянутому схилі, тобто кута між напрямком на північ і напрямком тальвега, встановили азимути для верхнього осередку A_1 і нижнього осередку A_2 (рис. 3.11). За полярними координатами A_1 становить 231 градус, а A_2 – 211 градусів. Тоді азимут тальвегу розглянутого схилу, як середнє арифметичне, склав 221 градус.

Таким чином, завдяки застосуванню інструментального підходу, що забезпечує точність одержуваних даних до 1 мм, досягнуто технічного результату у вигляді підвищення точності визначення тальвегу на агроландшафтах схилових земель у польових умовах.

Висновки по розділу

За результатами лабораторних досліджень профілографа під час визначення показників поверхні встановлено форму поверхні фізичної моделі, величини опуклості та увігнутості форми, що становили – 11,8 мм і 13,8 мм відповідно, а також величина гофр за висотою для фізичної моделі С-9 становила 8,9 мм, що є допустимим за вимогами до контролю якості поверхонь.

На основі лабораторних досліджень профілографа під час визначення агротехнічних показників оранки для фізичної моделі з параметрами: глибина відкритої борозни становить 200 мм, поздовжній нахил уздовж борозни задали в 1 градус, а поперечний нахил – 0,6 градуса, коефіцієнт спушеності – 1,25 - встановлено такі значення агротехнічних показників для фізичної моделі: глибина відкритої борозни становила 202 ± 2 мм, поздовжній ухил уздовж борозни – $1,01 \pm 0,1$ градуса, поперечний ухил – $0,62 \pm 0,1$ градуса, коефіцієнт спушеності – $1,26 \pm 2$. Відхилення за точністю загалом за приладом становило за кутовими параметрами 0,01...0,02 градуса і лінійними – 1,2,5 мм.

Для польових умов під час дослідження профілографа на обробленому ґрунті елементарної площадки встановлено, що за один оберт приладу було отримано 9616 точок даних на довжині профілю 6,3 м, тобто приблизно на 2 мм виконується 3 виміри. Видно, що розрахункові нерівності поверхні варіюється від 2 мм до 6 мм, а розрахункова гребнистість – 16.28 мм. У міру збільшення довжини профілю, що заміряється (від 1000 до 5000 точок), параметри розрахункової величини мікрорельєфу і гребнистості спочатку різко збільшуються, а потім коливаються навколо асимптотичного значення, прийнятого за істинне значення – 5,1 мм і 21,9 мм відповідно. Вищенаведене дає

змогу рекомендувати метод ковзного середнього для оцінювання морфологічних параметрів денної поверхні обробленого ґрунту; у процесі контролю необхідно встановлювати базову довжину профілю понад 2,5 метри для підвищення точності одержуваних значень.

Застосовуючи спосіб визначення агротехнічних показників якості обробітку ґрунту та профілограф у польових умовах, розрахували такі агротехнічні показники оранки: глибина борозни становить 257...277 мм, поздовжній нахил (за відкритою борозною) – 0,68.0,74 градусів, поперечний нахил - 3,77...3,82 градусів, коефіцієнт спущеності – 1,43...1,59, прямолінійність оранки (відхилення від прямолінійності на 100 м гону) склала - 98 мм.

За результатами визначення грудкуватості ґрунту після оранки встановлено, що кут відхилення проекції лінії найбільшої зміни висоти (за якою вимірюється нахил) від напрямку руху обробної техніки становить $\alpha = -32,4$ та нахил досліджуваної ділянки становить 4,8 градуса, а в кількісному розподілі за розмірами переважають агрегати 1-4 сантиметрів у діаметрі, тобто забезпечується кришіння. Середньозважений діаметр грудок становив 4,07 см, а середньоквадратичне відхилення - 5,05 см.

Застосовуючи спосіб визначення мікротальвегу на агроландшафтах схилів земель у польових умовах, встановили азимути для верхнього осередку A_1 та нижнього осередку A_2 , які становили за полярними координатами 231 та 211 градусів відповідно, а азимут тальвегу розглянутого схилу, як середнє арифметичне, становив 221 градус.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Удосконалено конструктивно-технологічну схему профілографа для контролю агротехнічних показників якості обробітку ґрунту на схилових землях. Модифіковано аналітичну модель оборотності ґрунтового шару на схилових землях. Розроблено спосіб визначення середнього ухилу елементарної площадки в польових умовах і профілограф для його здійснення, спосіб контролю якості обробітку ґрунту на агроландшафтах у польових умовах і пристрій профілографа.

Встановлено залежності, що описують мікрорельєф і відкриту борозну оранки, визначено агротехнічні показники якості обробітку ґрунту та відповідність їх агротехнічним вимогам, встановлено закономірності формування похибки вимірювання профілографом.

На основі проведених досліджень визначено раціональні конструктивно-технологічні параметри профілографа. Для адекватного розрахунку параметрів денної поверхні ґрунту на рівних поверхнях базова довжина профілю в 2,5 м за повороту приладу на кут 150...180 градусів є достатньою. Для підвищення точності приладу в межах допустимих значень помилки під час контролю агротехнічних показників якості обробітку ґрунту ґрунтообробною машиною необхідно збільшити кількість замірів по колу шляхом зміни радіусу, швидкості сканування та частоти вибірки (добору або регулювання датчика) виходячи з виду обробітку ґрунту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Flacke W., Auerswald K., Neufang L. Combining a modified universal soil loss equation with a digital terrain model. *Catena*, 1990. V. 17. P. 383- 397.
2. Бурштинська Х. В. Порівняльний аналіз побудови цифрових моделей рельєфу з використанням апроксимаційних функцій. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2001. Вип. 61. С. 137-148.
3. Zhang, Y. Highlight Article: Understanding Image Fusion. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2004. Vol. 70, P. 657-661.
4. Тумська О. В. Дослідження автоматичної побудови цифрової моделі рельєфу VLL-методом за матеріалами аерофотознімання. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. Львів, 2004. Вип.65. С. 96-104.
5. Шостак А. В. Оцінка дисперсних ґрунтів та їх основних реологічних властивостей. *Містобудування та територіальне планування*. 2011. Вип. 39. С. 465-475.
6. Мендель В. П. Застосування методів математичної морфології при дослідженні ерозійних процесів за матеріалами аерофотозйомки. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. Львів, 2017. Вип.85. С.83-92.
7. Мендель В. П. Картографування сільськогосподарських земель в умовах прояву водної ерозії. *Вісник НУВГП*. 2013. №3. С. 41–42.
8. Gastner M.T. Diffusion – based method for producing density equalizing maps. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, № 101. 2004. P.7499-7504.
9. Tobler W. R. Pseudo-Cartograms. *The American Cartographer*. 1986. 13. №1. P.43-50.
10. Dougenik J. A. An algorithm to construct continuous area cartograms / J. A. Dougenik, N. R. Christman, D. R. Niemeyer. *Prof. Geogr.*, 1985. 37. №1. P. 75-81.
11. Selvin S. Transformations of map to investigate clusters of disease. *Lawrence Berkeley Laboratory. Univ.of California*. 1984. 33 p.

12. Мельник В. М. Основи картографії: навч. посібн. Луцьк: РВВ Східноєвроп. нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2012. 212 с.

13. Процик М. Статистична модель дослідження залежності між еродованістю рілних сільськогосподарських угідь та крутизною схилів. Матеріали регіон. наради «Можливості дистанційного зондування землі та геоінформаційних технологій у вирішенні проблем Полісся». Київ-Луцьк. 2002. – С.42-43.

14. Мендель В. П. Деякі питання дослідження ерозійно – трансформованих земель півдня Волині. V Міжнародна науково-практична конференція студентів і аспірантів «Молода наука Волині: пріоритети та перспективи досліджень». – Луцьк. 2011. С.222-223.

15. Ющенко К.А. Інженерія поверхні. Київ : НВП Видавництво «Наукова думка України», 2007. 557 с.

16. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.

17. Грабар І. Двораковський І. Обґрунтування застосування та опис конструктивно-технологічної схеми профілографа. *Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки»*. Кропивницький: ЦНТУ. 2023. С. 406-407.

18. Грабар І.Г. Двораковський І.О. Методи і технічні засоби контролю агротехнічних показників якості роботи ґрунтообробних знарядь. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали V Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Запоріжжя, 01-24 листопада 2023 р.)*. Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. С. 71-77.

19. **Двораковський І.О.** Роль і значення контролю якості роботи ґрунтообробних знарядь на схилах. *Студентські читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів,*

аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. 25 жовтня 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 46-48.