

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

**Факультет інженерії та енергетики**

**Кафедра машиновикористання та сервісу технологічних систем**

**Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису**

**КАШПЕРСЬКИЙ ЕДУАРД МИКОЛАЙОВИЧ**

**УДК 631.313**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**Визначення довговічності корпусу плуга шляхом аналізу  
розподілу тиску ґрунту та зносу робочого органу**

**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 \_\_\_\_\_ Е.М. Кашперський

**Керівник роботи**

**Білецький В.Р.**

**кандидат технічних наук, доцент**

**Житомир – 2020**

## АНОТАЦІЯ

**Кашперський Едуард Миколайович. Визначення довговічності корпусу плуга шляхом аналізу розподілу тиску ґрунту та зносу робочого органу. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.**

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

В магістерській роботі розроблена методика визначення розподілу тиску на поверхні тертя робочих органів плугів, яка дозволить проектувати робочі органи з оптимізованими геометричними параметрами. Оптимізація робочої поверхні сприятиме зменшенню інтенсивності зношування робочих органів та підвищенню показників надійності плугів.

Розроблена методика основана на вимірюванні тиску за допомогою тактильних датчиків, оскільки їх можна відкалібрувати перед установкою на поверхню робочих органів плуга.

Результати досліджень показують, що на значення тиску впливає швидкість і глибина обробітку, але кожна частина робочого органу має свою характерну поведінку. Різна поведінка робочих органів плуга в основному зумовлена різною роллю, яку вони відіграють у процесі різання ґрунту.

Прийняття виробниками сільськогосподарських машин встановленої числової моделі розподілу тиску, при проектуванні геометрії робочих органів плугів, дозволить підвищити ефективність плуга за рахунок оптимізації геометричних параметрів робочих органів для зменшення тиску, що в свою чергу дозволить підвищити їх довговічність.

*Ключові слова:* плуг, тиск, швидкість, знос, довговічність, закономірність, робочий орган, леміш, відвал, польова дошка.

## ANNOTATION

**Kashpersky Eduard Mykolayovych. Determining the durability of the plow body by analyzing the distribution of soil pressure and wear of the working body.** – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. - Polissya National University, Zhytomyr, 2020.

In the master's work the technique of definition of distribution of pressure on a surface of friction of working bodies of plows which will allow to design working bodies with the optimized geometrical parameters is developed. Optimization of the working surface will help to reduce the intensity of wear of the working bodies and increase the reliability of the plows.

The developed technique is based on measuring the pressure with tactile sensors, as they can be calibrated before installation on the surface of the working bodies of the plow.

The results of research show that the value of pressure is influenced by the speed and depth of cultivation, but each part of the working body has its own characteristic behavior. The different behavior of the plow working bodies is mainly due to the different role they play in the process of cutting the soil.

Adoption by manufacturers of agricultural machinery of the established numerical model of pressure distribution, when designing geometry of working bodies of plows, will allow to increase efficiency of a plow due to optimization of geometrical parameters of working bodies for pressure reduction that in turn will allow to increase their durability.

*Key words: plow, pressure, speed, wear, durability, regularity, working body, ploughshare, dump, field board.*

## ЗМІСТ

|                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                                         | 5  |
| РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПЛУГІВ ТА<br>МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ТИСКУ ҐРУНТУ НА ПОВЕРХНЮ ТЕРТЯ..... | 8  |
| РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....                                                               | 13 |
| РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ.....                                                                  | 18 |
| ВИСНОВКИ.....                                                                                                      | 27 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....                                                                                    | 29 |

## ВСТУП

Однією з основних цілей виробників сільськогосподарських машин є проектування надійних машин. Причина, по якій цей аспект досить актуальний, полягає в тому, що він призводить до економії витрат та підвищення рівня задоволеності споживачів завдяки меншому простою машини та необхідності виконання ремонтних діянь. Оцінка довговічності відіграє ще більш важливу роль у проектуванні машин для обробітку ґрунту, оскільки вони в більшій мірі піддаються проблемам довговічності. Це пов'язано з тим, що підготовка ґрунту здійснюється за рахунок механічної взаємодії ґрунту з інструментом. Зокрема, плуг ріже, крише і повертає верхній шар ґрунту, розвиваючи високу силу тяги на трактор. Оскільки оранка є високоенергетичною операцією, було проведено багато числових моделювань та експериментальних випробувань для підвищення ефективності роботи плугів шляхом оптимізації форми їх робочих органів. Більше того, ефективність та довговічність плуга суворо корелюють, оскільки останній піддається особливо сильному зносу під час роботи. Початкова форма робочих органів плуга, хоча і оптимізована але змінюється внаслідок явищ зносу протягом його функціонування.

Характеристики робочих органів сильно змінюються через явища зношування, це впливає на якість обробітку ґрунту, витрати на технічне обслуговування та на витрату палива трактора. Існує кілька режимів зношування інструментів для обробітку ґрунту, але основна причина втрату матеріалу полягає в абразивній дії частинок ґрунту.

На швидкість зношування робочих органів ґрунтообробних машин впливають характеристики ґрунту, відносна твердість матеріалу інструменту щодо твердості частинок ґрунту та розподіл тиску ґрунтового інструменту. Що стосується останнього, то одним із можливих методів прогнозування розподілу тиску на всій поверхні інструменту є точна математична модель. Ці математичні моделі можна розділити на дві макрокатегорії:

- аналітичні моделі засновані на теорії земного тиску;
- чисельні моделі.

Однак, навіть якщо отримані результати є вирішальними для проектування оптимізованих інструментів, моделі повинні перевірятися експериментальними дослідженнями. Тому необхідно розробити методики випробувань здатної вимірювати та оцінювати розподіл тиску на робочому тілі плуга за допомогою тактильних датчиків.

**Мета і задачі дослідження.** Встановлення закономірностей розподілу тиску ґрунту на поверхню робочих органів плуга та інтенсивності їх зношування для проектування робочих органів з оптимізованими геометричними параметрами.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі:

- Провести аналіз довговічності робочих органів плугів та методів визначення тиску ґрунту на поверхню тертя;
- Розробити сучасну методику дослідження зміни тиску ґрунту на робочі поверхні корпусу плуга;
- В польових умовах визначити закономірності зміни тиску ґрунту на поверхню робочого органу в залежності від швидкості та глибини обробітку.

**Об'єкт дослідження:** процес взаємодії робочої поверхні складових частин корпусу плуга з ґрунтом.

**Предмет дослідження:** закономірність зміни тиску на поверхні робочих органів плуга в залежності від швидкості руху та глибини обробітку.

**Методи дослідження.** Основні дослідження виконано з використанням методів прикладної фізики, землеробської механіки та триботехніки. Обробку експериментальних даних проведено регресійним аналізом з використанням методів теорії ймовірності та математичної статистики за допомогою прикладних комп'ютерних програм.

### **Перелік публікацій за темою роботи:**

1. **Кашперський Е.М.** Методика досліджень розподілу тиску на поверхні робочих органів плуга. Збірник тез VI-ї всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 9-10 квітня 2020 року. Житомир : ЖАТК. С. 146-148.

2. **Кашперський Е.М.** Довговічність робочих органів плуга. Збірник матеріалів I Всеукраїнської студентської науково-практичної конференції *«Теорія і практика сучасної науки очима молоді»* 26 березня 2020 року (проведено он-лайн 30 квітня 2020 року) м. Харків : ХНТУСГ ім. П. Василенка. С. 127-128.

3. Білецький В.Р. **Кашперський Е.М.** Вплив тиску ґрунту на інтенсивність зношування робочих органів плуга. Матеріали XXI Міжнародної наукової конференції *„Сучасні проблеми землеробської механіки”* присвяченої 90-річчю Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка та 120-й річниці з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка. 17 – 18 жовтня 2020 року Харків : ХНТУСГ ім. П. Василенка. С. 71.

**Практичне значення одержаних результатів.** Основні результати досліджень спрямовані на визначення закономірності зміни тиску ґрунту на робочі поверхні корпусу плуга для врахування їх при проектуванні робочих органів підвищеної надійності.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 23 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 31 сторінка комп'ютерного тексту містить 2 таблиця і 13 рисунків.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПЛУГІВ ТА МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ТИСКУ ҐРУНТУ НА ПОВЕРХНЮ ТЕРТЯ

Довговічність сільськогосподарської техніки – це здатність машини підтримувати свою функціональність протягом запланованого терміну експлуатації, не вимагаючи непомірного ступеня технічного обслуговування. Розробка сільськогосподарських машин з високою надійністю є одним із головних цілей сільськогосподарського машинобудування. Насправді досягнення цієї мети призводить до задоволеності клієнтів через менші простоти техніки та зростання виробництва даних машин[1].

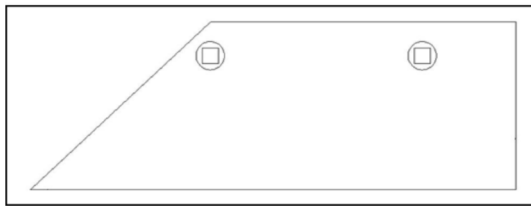
З цієї причини оцінка довговічності сільськогосподарських машин за допомогою аналізу даних про навантаження набула принципового значення в останні роки [2].

В сільському господарстві, найбільш гостро стоїть питання оцінки довговічності робочих органів ґрунтообробних машин, які безпосередньо взаємодіють з ґрунтом [3]. Завданням робочих органів ґрунтообробних машин є підготовка ґрунту, шляхом механічного впливу, для забезпечення оптимальних умов росту сільськогосподарських культур. Серед усіх інструментів для обробітку ґрунту плуг, як і раніше, є одним з найважливіших та найпопулярніших інструментів основного обробітку. Основна мета оранки – зрізати, розпушити і перевернути верхній шар ґрунту, при цьому загортаючи рослинні залишки та бур'яни. Оранка є високоенергетичною операцією, саме тому було проведено багато досліджень для підвищення ефективності використання плугів шляхом оптимізації форми його робочих органів.

Один із способів отримання оптимізованої геометрії робочих органів плуга – це експериментальне випробування, проведене з різними робочими органами плугів на різних типах ґрунтів [2]. Більш сучасний підхід до цього

питання – це розробка математичних моделей, які враховують фізико-механічні характеристики ґрунту та умови експлуатації.

Покращити довговічність робочих органів із забезпеченням ефективності експлуатації плуга завдання непросте [2-7]. Робочі органи плуга піддаються досить інтенсивному зношуванню, особливо леміш плуга (рис. 1.1).



а



б

Рис. 1.1. Леміш плуга: а – новий; б – зношений.

Інтенсивність зношування потрібно мінімізувати, оскільки зношування робочих органів призводить до зростання витрати палива, погіршення якості обробітку ґрунту та зростання витрат на обслуговування, через більш часті заміни деталей. Причина зношування робочих органів ґрунтообробних машин пов'язана головним чином із взаємодією ґрунту та поверхні робочих органів. Існує кілька режимів зношування поверхонь робочих органів ґрунтообробних машин, але переважаючий механізм зношування полягає в абразивній дії ґрунтових частинок. Зменшити інтенсивність зношування і підвищити довговічність робочих органів ґрунтообробних машин можливо трьома методами: технологічним, конструктивним та експлуатаційним. Переважна більшість дослідників та практиків застосовують технологічні методи підвищення довговічності робочих органів плугів. Прогнозування довговічності в даному випадку відбувається за рахунок врахування твердості і геометричних параметрів нанесеного зносостійкого покриття [5-10]. На нашу думку для прогнозування довговічності необхідно врахувати умови роботи плугів, для

цього необхідно визначити розподіл тиску на поверхні робочих органів плугів для різних типів ґрунтів.

Існуючі аналітичні моделі визначення тиску на поверхні ґрунту є доволі громіздкі і неточні. Більшість результатів отриманих на основі аналітичних моделей розроблених у 20 сторіччі для дослідження взаємодії ґрунту та робочих органів плугів були достовірними тільки для малих швидкостей. Насправді параметри моделей визначалися у квазістатичному стані з урахуванням рівноваги системи ґрунт – інструмент.

На початку 21 сторіччя бурхливий розвиток ЕОМ дозволив розробляти числові моделі, що враховують швидкість та прискорення робочих органів під час взаємодії ґрунту з робочими органами [7-11].

Метод кінцевих елементів – це числовий метод, який поділяє велику задачу на менші, простіші частинки, які називаються скінченими елементами. Зазвичай цей метод використовується для структурного аналізу, однак є намагання застосовувати цей метод для моделювання взаємодії ґрунт – робочий орган. Оскільки цей метод заснований на підходах статичної механіки, прогнози отримані не змогли вирішити динамічну задачу взаємодії між робочим органом і ґрунтом.

Одним із аналітичних методів, що дозволяє більш якісно описати механізм взаємодії ґрунту та робочого органу є аналітична динаміка рідини. Цей метод корелює реологічну поведінку ґрунту з його динамічними характеристиками з точки зору потоку рідини. Подальшим удосконаленням аналітичної динаміки рідини є застосування методів дискретних елементів, де потік ґрунту поділяється на велику кількість дрібних частинок. Сьогодні методи дискретних елементів прийнятий як ефективний метод вирішення інженерних проблем в гранульованих потоках. Моделі дискретних елементів стали можливі для аналізу механіки ґрунтів лише в останні роки, оскільки вони потребують величезних обчислювальних потужностей через велику кількість частинок ґрунту, які необхідно враховувати. Результати отримані за допомогою

цих матмоделей дозволяють зробити висновок, що тиск на поверхні робочих органів не є постійною величиною і має найбільше значення на краю робочого органу. Також встановлено, що тиск зростає із збільшенням сили зсуву ґрунту і корелюється зі швидкістю руху ґрунтообробного агрегату.

Результати отримані за допомогою теоретичних моделей, мають вирішальне значення для розробки оптимізованих інструментів, однак моделі повинні бути перевірені експериментальними дослідженнями. Велика кількість досліджень в нашій країні та закордоном були проведені з використанням тензодатчиків, що встановлювалися безпосередньо на робочому органу. Це рішення не підходить для робочих органів плуга, оскільки калібрування таких датчиків є доволі складною задачею а проблеми з точністю можуть виникнути через геометрію робочого органу. Рішенням цього питання є вимірювання тиску за допомогою декількох тактильних датчиків, оскільки їх можна відкалібрувати перед установкою на поверхню плуга.

Висока зношувальна здатність ґрунту вимагає впровадження надійної системи захисту для всіх тактильних датчиків, яка не буде впливати на чутливість датчиків.

## **Висновок по розділу 1**

Надійність ґрунтообробних машин на 90% залежить від довговічності їх робочих органів [10-15]. Довговічність робочих органів ґрунтообробних машин залежить від багатьох факторів, одним з яких є тиск на поверхні тертя. Існуючі аналітичні моделі визначення тиску на поверхні ґрунту є доволі громіздкі і неточні а існуючі експериментальні дані отримані тензодатчиків, що встановлювалися безпосередньо на робочому органу. Це рішення не підходить для робочих органів плуга, оскільки калібрування таких датчиків є доволі складною задачею а проблеми з точністю можуть виникнути через геометрію

робочого органу. Рішенням цього питання є вимірювання тиску за допомогою декількох тактильних датчиків, оскільки їх можна відкалібрувати перед установкою на поверхню плуга.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Проведені польові випробування з оборотним плугом Gruppo Nardi 4, приєднаним до трактора New Holland T7.260 (табл. 2.1, табл. 2.2 та рис. 2.1).

Таблиця 2.1. – Технічна характеристика плуга Gruppo Nardi 4

| Показник                                             | Значення  |
|------------------------------------------------------|-----------|
| Тип плуга                                            | Обертовий |
| Кількість корпусів                                   | 4         |
| Максимальна потужність, яка необхідна трактору (кВт) | 176       |
| Вага (кг)                                            | 1720      |
| Ширина захвату (м)                                   | 2         |

Таблиця 2.2. – Технічна характеристика трактора New Holland T7.260

| Показник                            | Значення                      |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| Потужність двигуна (кВт)            | 194                           |
| Крутний момент при 1500 об/хв. (Нм) | 1349                          |
| Колісна формула                     | 4×4                           |
| Трансмісія                          | Передач – 18 вперед, 6 назад. |
| Вага з баластом (кг)                | 8900                          |

Дослідження проводили в умовах ґрунтово-кліматичної зони Лісостепу, ґрунти переважали глинясті та суглинкові. Середня вологість під час проведення досліджень складала 22%. Тиск вимірювали за допомогою десяти тактильних датчиків, розміщених на корпусі плуга, які найбільше піддаються абразивному зношуванню (рис. 2.2).



Рис. 2.1. Ґрунтообробний агрегат для проведення досліджень.

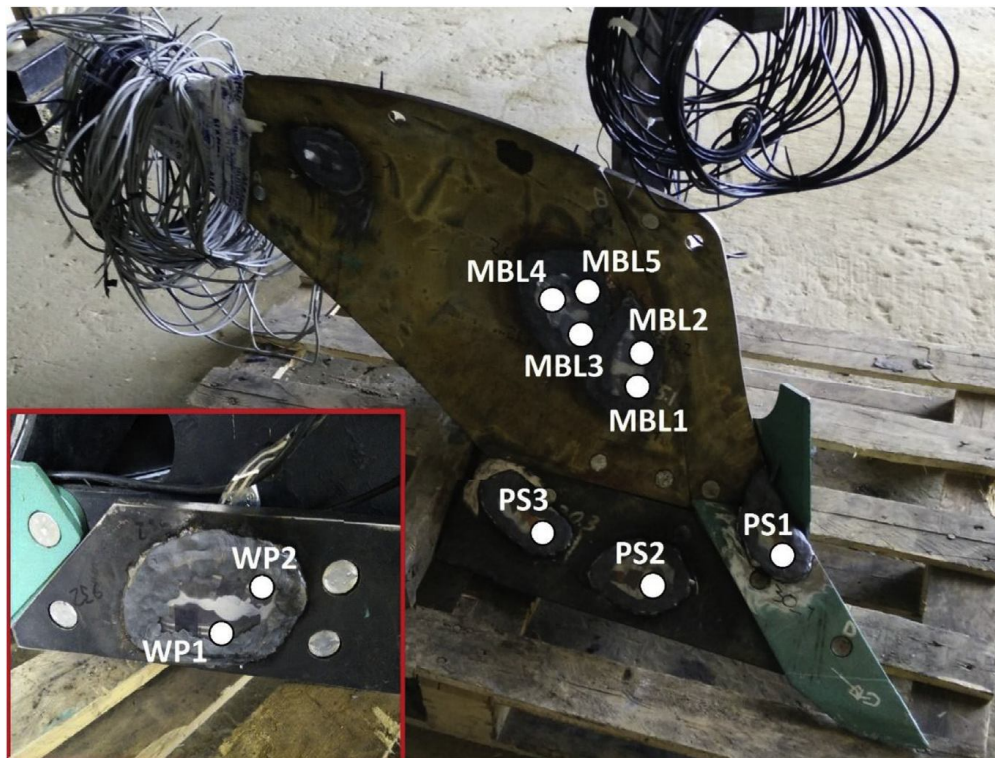


Рис. 2.2. Розміщення тактильних датчиків на корпусі плуга.

Датчики були захищені шаром епоксидної смоли. Калібрування проводили після встановлення захисту, щоб пересвідчитися у відсутності впливу на їх чутливість. Провід датчиків не контактував з поверхнею ґрунту, оскільки він був пропущений через отвори в корпусі плуга до тильної сторони робочих органів. Кожен датчик був підключений до плати швидкого запуску, яка перетворює вихідний сигнал датчика на аналоговий сигнал напруги. Для підтримання осі датчика вирівняної до поздовжнього напрямку руху трактора

використовували триточкову навісну муфту, щоб запобігти відносному обертанню між штифтами та рамою (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Триточкова зчіпна муфта та штирі для забезпечення об'єктивності досліджень.

Дані отримані за допомогою тактильних датчиків, були розділені на зону зондування перетворювача для того, щоб розрахувати тиск, який ґрунт чинить на датчик.

Випробування проводили при глибині оранки 0,1 м, 0,2 м та 0,3 м, з підтримуванням 3 швидкісних режимів руху 2,0 км/год, 3,5 км/год та 5,7 км/год.

Сигнал швидкості та сили тяги аналізували шляхом обчислення середнього значення та різниці між максимальним та мінімальним значенням. Сигнали оцінювали як стаціонарні за допомогою методу сегментування. Усі сигнали були обрамлені в сегменти шириною 15 с і розраховане середнє значення сегмента. Для кожного сигналу тиску були виявлені стрибки виступами вище 7 кПа (рис. 2.4.) і таким чином був усунений високачастотний шум сигналу, що призводить до малих коливань тиску.

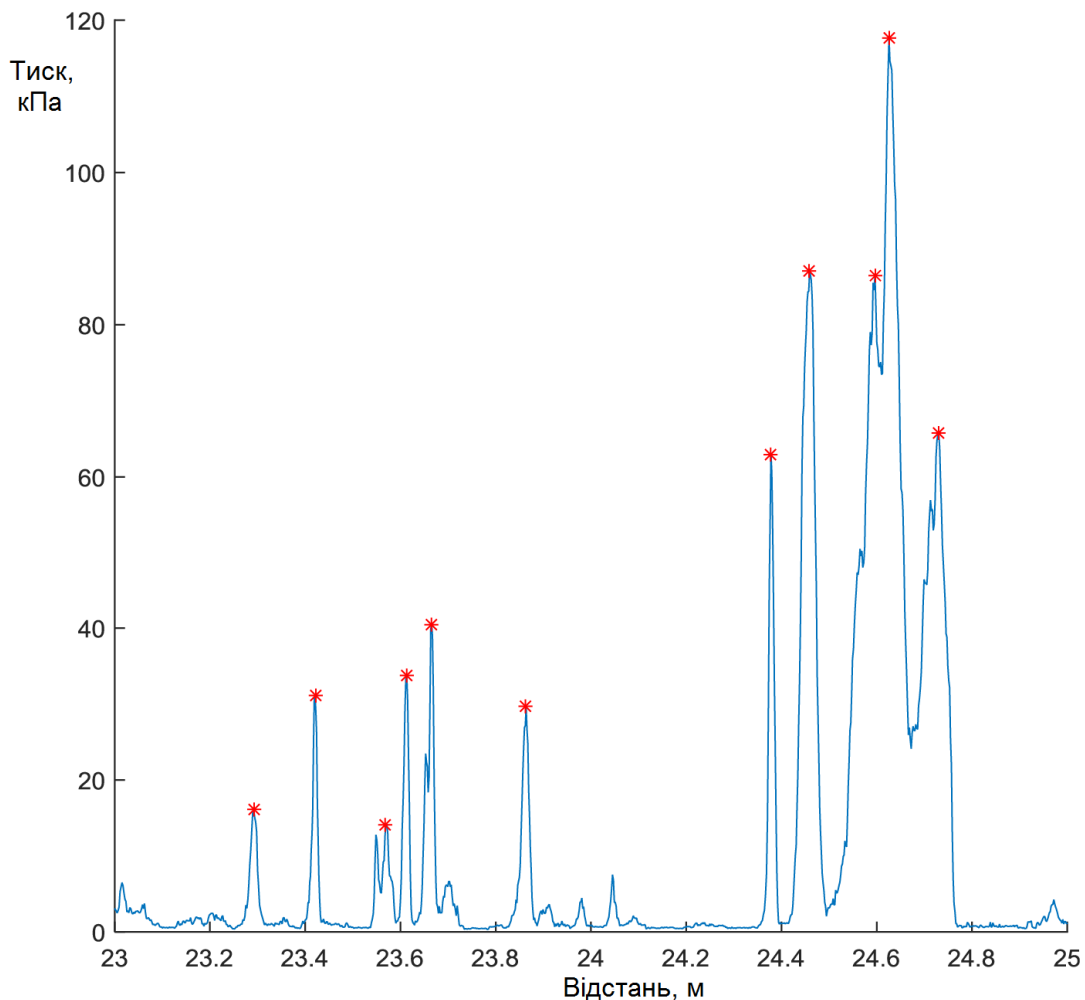


Рис. 2.4. Виявлення піків тиску при швидкості руху ґрунтообробного агрегату 3,5 км/год.

Після чого виявлені піки були згруповані в інтервали тиску шириною 20 кПа, таким чином розраховували розподіли пікових сачків та аналізували вплив

швидкості на схеми стрибків. Кореляцію між тиском і швидкістю оцінювали за допомогою регресійного аналізу [15-23].

### **Висновок по розділу 2.**

Розроблена методика визначення розподілу тиску на поверхні тертя робочих органів плугів, яка дозволить проектувати робочі органи з оптимізованими геометричними параметрами. Оптимізація робочої поверхні сприятиме зменшенню інтенсивності зношування робочих органів та підвищенню показників надійності плугів.

### РОЗДІЛ 3

#### РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

Зміна швидкості відносно переміщення призводить до зміни сили тяги (рис.3.1).

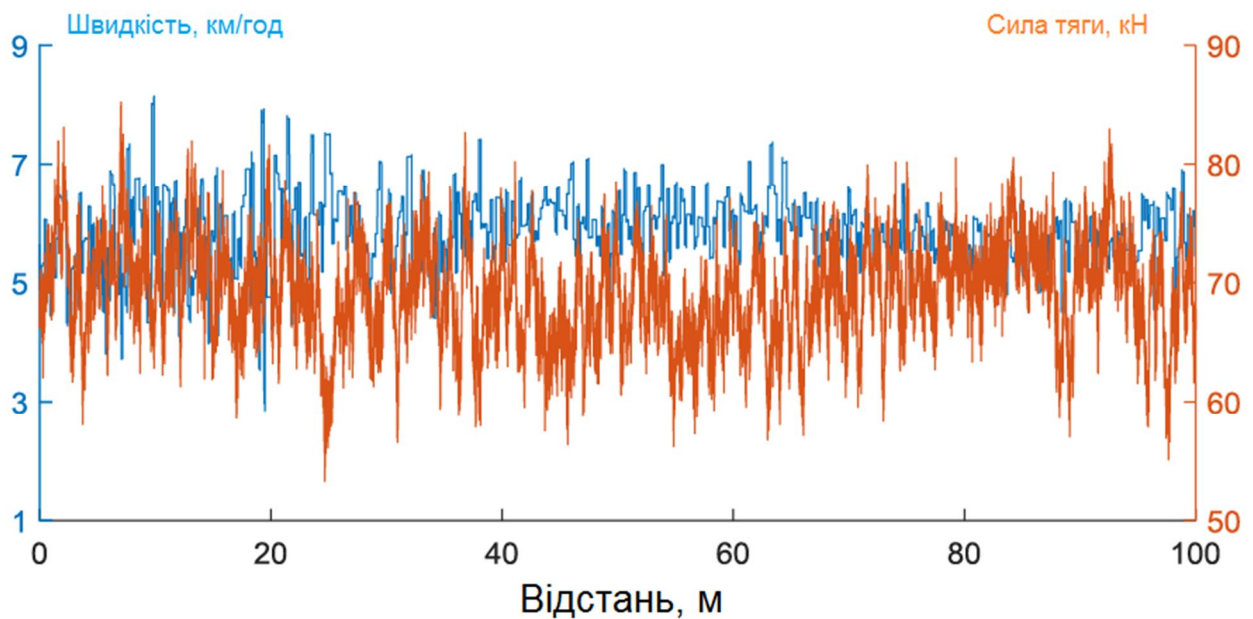


Рис. 3.1. Зміна сили тяги при зміні миттєвої відносної швидкості на відстані 100м при номінальній швидкості руху агрегату 5,7 км/год.

Найбільша варіація тяги була отримана при швидкості 5,7 км/год., де різниця між мінімальним та максимальним значеннями тяги становила 32 кН, натомість середнє значення тяги становило 69 кН. Різниця між мінімальним та максимальним значеннями швидкості становила 5,4 км/год.

Зразок TSMV для швидкості, тяги та двох сигналів тиску, виміряних при 5,7 км/год., представлений на рис. 3.2. Значення тяги та швидкості показують нижче 4%, і з цієї причини тест можна вважати стаціонарним. З іншого боку, TSMV сигналів тиску демонструють більше розподілених значень і тому взаємодія ґрунт і обробіток ґрунту не може вважатися стаціонарним процесом.

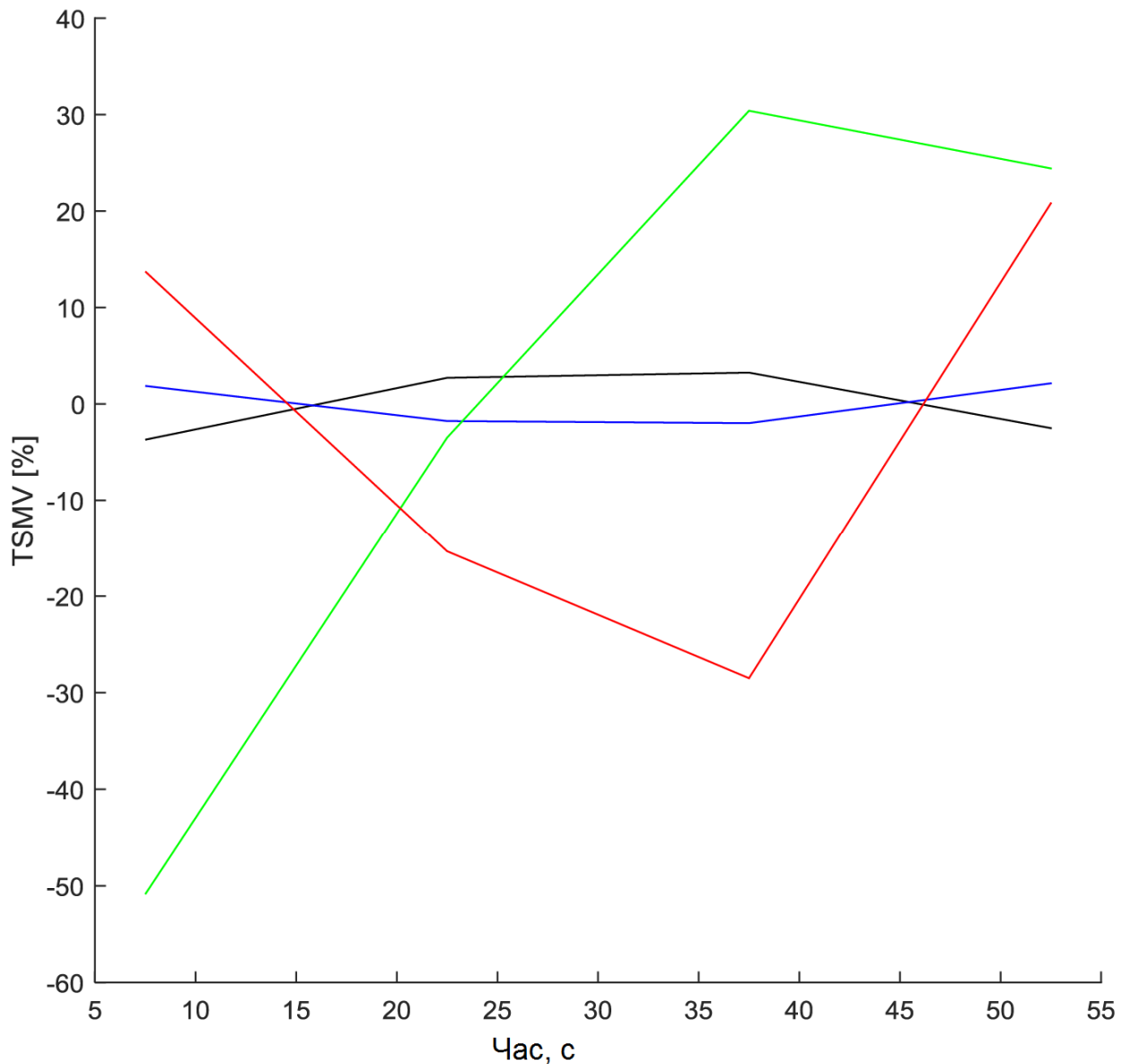


Рис. 3.2. TSMV при швидкості оранки 5,7 км/год.: швидкість ( — ), сила тяги ( — ), MBL3 ( — ) та PS2 ( — ).

Насправді сигнали тиску характеризувались базовим тиском і великими стрибками (рис. 3.3). Базовий тиск був менше 4 кПа і не залежав від положення датчика або швидкості оранки. Піки були спричинені тим, що ґрунт - це зернистий матеріал з неоднорідною міцністю, що спричиняє змінну реакцію з плугом.

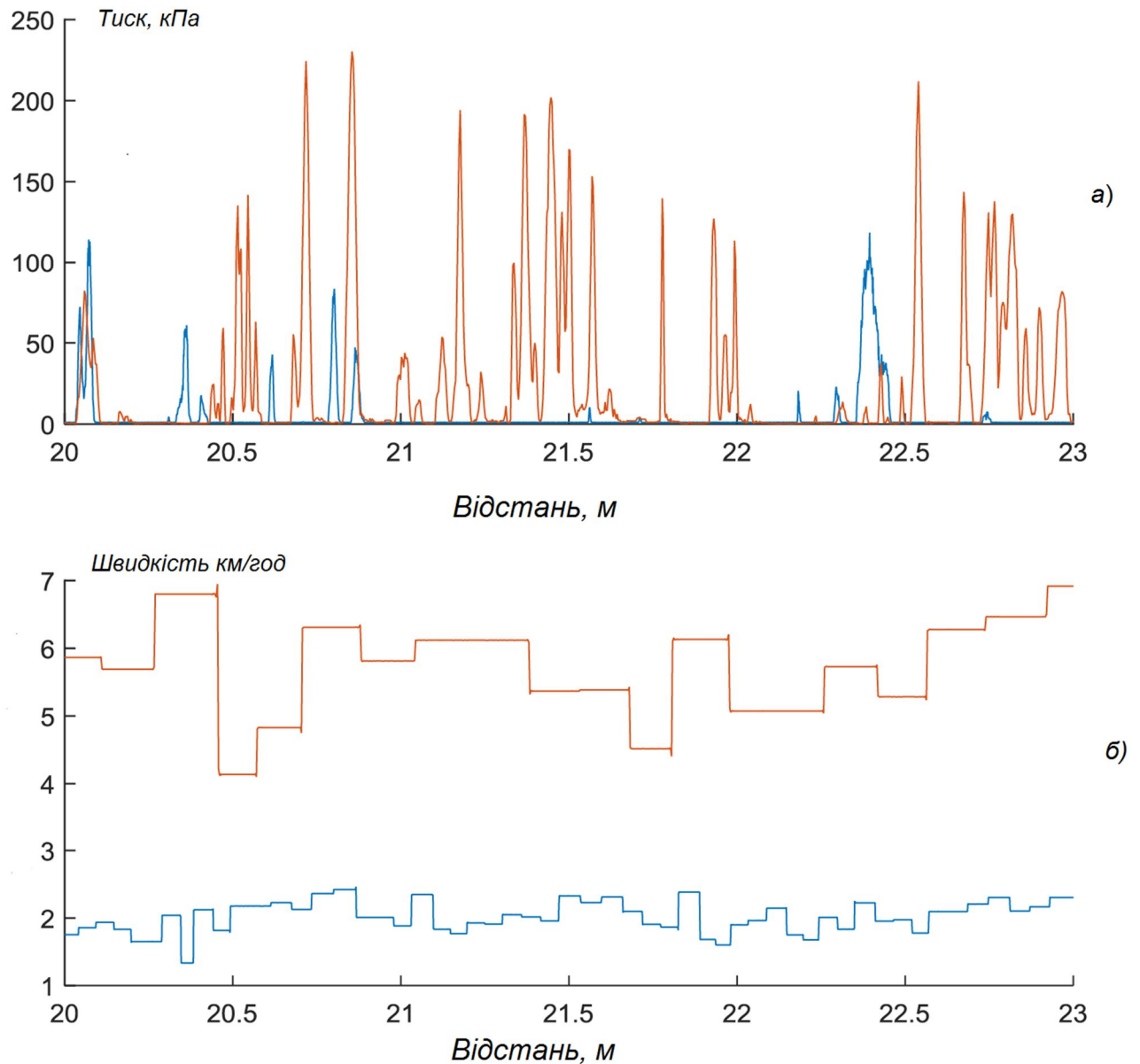


Рис. 3.3. Зміна тиску (а) та швидкості (б) при швидкості руху орного агрегату 2 км/год. ( — ) та 5,7 км/год. ( — ).

Розподіл пікових стрибків усіх зафіксованих тисків в умовах руху ґрунтообробного агрегату на швидкості 5,7 км/год. представлено на рис. 3.4.

Кількість випадків стрибко дуже різниться між собою, але може бути визнано подібну тенденцію. Дійсно, всі розподіли різко зменшуються з тиском, і не спостерігається зазору, за винятком правого хвоста, що характеризується ізольованими точками (рис. 3.4). Отже, малі піки домінують над великими, і

насправді 90% усіх розподілів включається між 31% і 54% від максимального вимірюваного тиску.

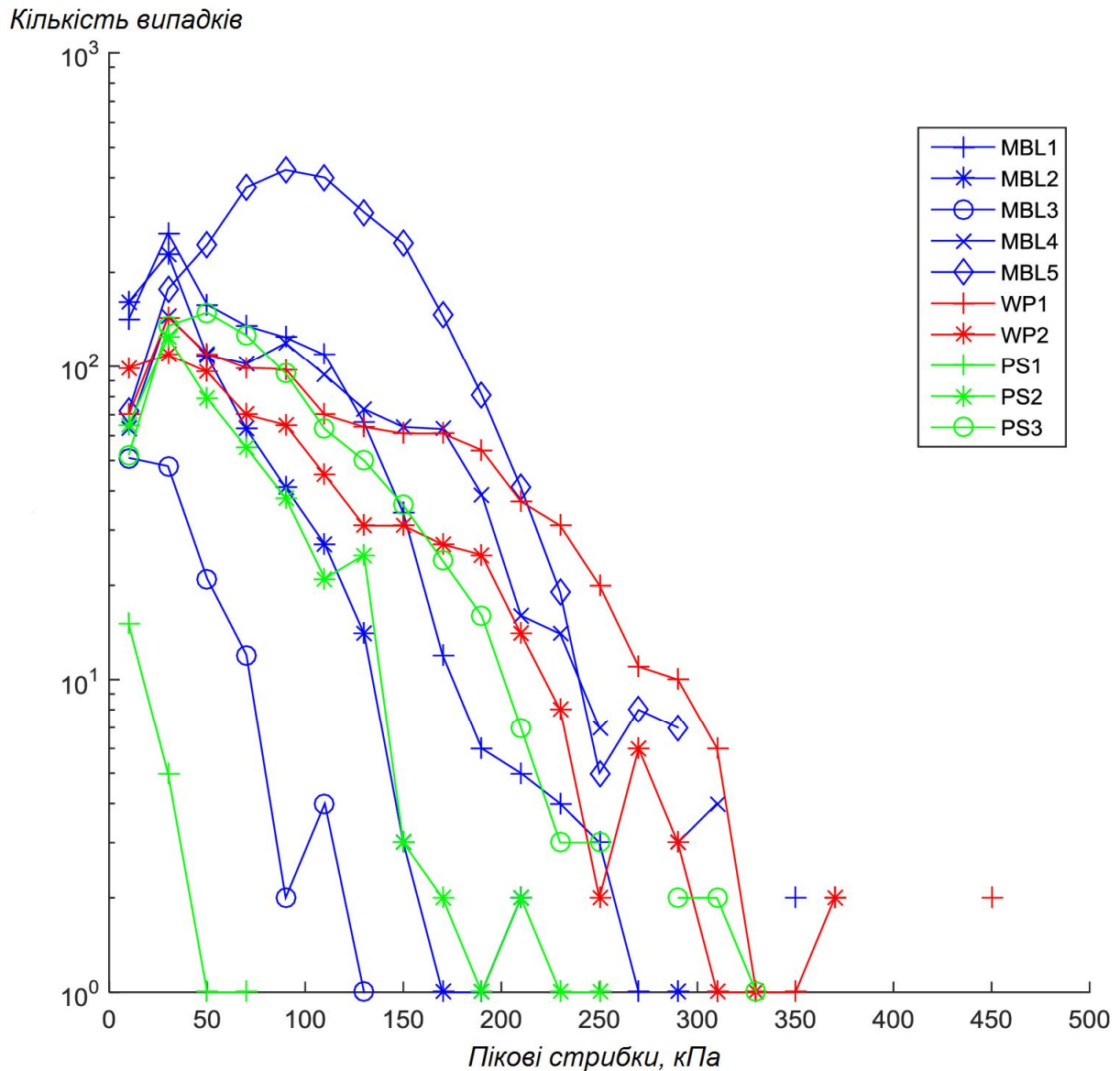


Рис. 3.4. Розподіл пікових стрибків тиску для всіх датчиків при швидкості руху агрегату 5,7 км/год.

Сигнали від датчиків тиску розміщених на відвалі (MBL), були більш нерегулярними ніж сигнали отримані від датчиків встановлених на інших робочих органах, тому що ґрунт з яким взаємодіє відвал був більш рихлим. Отже, у цих сигналах на всіх швидкостях спостерігається більша кількість стрибків. Єдиним винятком є тиск датчика MBL3, який був розташований поблизу захисної кромки, що могло вплинути на потік ґрунту над датчиком.

Піки на менших інтервалах (від 50 до 150 кПа) розподілу MBL5 набагато частіше ніж MBL4, навіть якщо датчики були розташовані на відстані менше 60 мм один від одного, що свідчить про досить нерегулярний розподіл тиску для MBL. Розподіл WP1 та WP2 є більш малим порівняно з розподілом інших тисків через низьку кількість малих піків та велику кількість високих піків по відношенню до інших робочих органів.

Найменша кількість піків отримано для датчика PS1, оскільки датчик був розміщений занадто близько до кромки, що ймовірно відхиляло потоки ґрунту від нього (рис. 3.4 та 3.5).

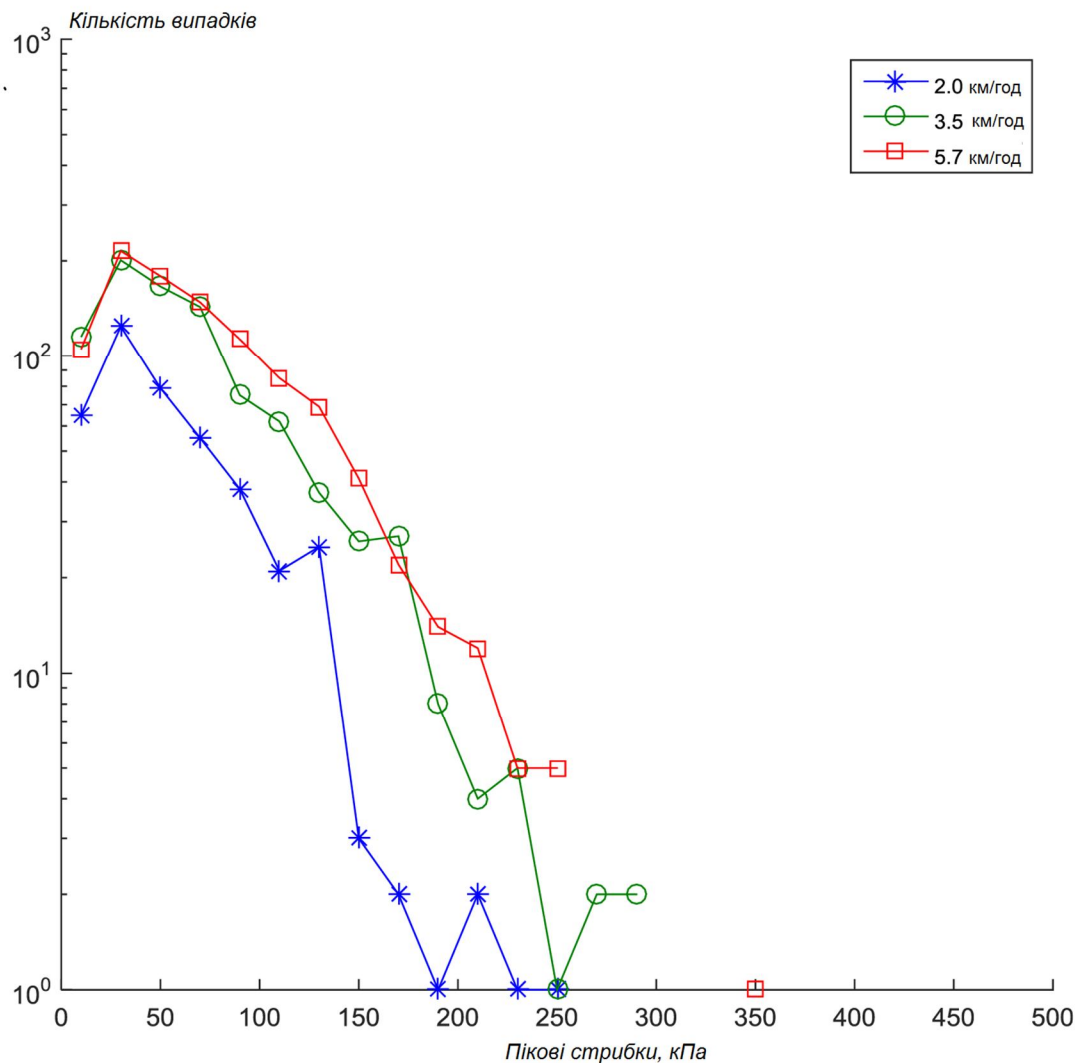


Рис. 3.5. Розподіл пікових стрибків для PS2 на різних швидкостях випробовування

На розподіл тиску впливала швидкість, але не однакою для різних робочих органів корпусу плуга. Для лемеша (PS) кількість випадків зростала зі швидкістю для більшості інтервалів тиску, а отже кількість виявлених піків зростала (рис. 3.5). Максимальний вимірюваний тиск при швидкості руху агрегату 3,5 та 5,7 км/год. відповідно на 21% та 41% перевищує максимальний вимірюваний тиск при 2,0 км/год. Леміш в основному відповідає за різання ґрунту і швидкість впливає на процес різання.

Що стосується відвалу (датчики MBL), кількість випадків розподілу не збільшувалась монотонно зі швидкістю для більшості датчиків тиску. Наприклад, розподіли на випробувальних швидкостях для тиску MBL4 представлені на рис. 3.6, де лише на кінці розподілу кількість випадків на швидкості 5,7 більше ніж на швидкості 3,5 км/год.

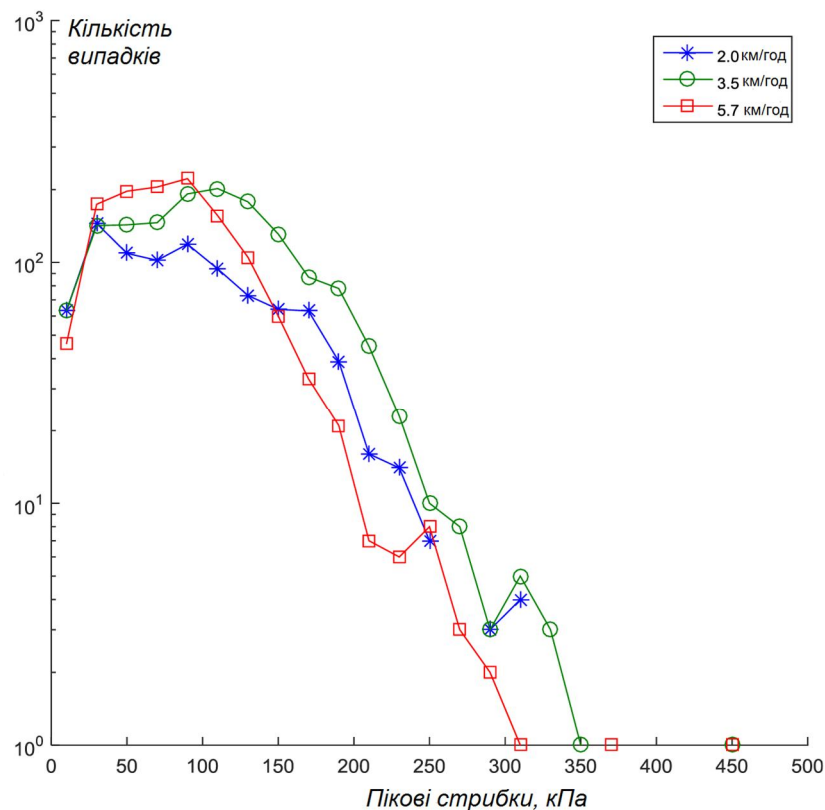


Рис. 3.6. Розподіл пікових стрибків для MBL4 на різних швидкостях випробовування

З цієї причини кількість виявлених стрибків при швидкості 3,5 км/год становить на 15% більше, ніж при 5,7 км/год. Більше того, максимальний

вимірюваний тиск при 3,5 та 5,7 км/год. становить приблизно на 38% більше, ніж на швидкості 2,0 км/год. Для датчиків MBL встановлених на відвалі ефект швидкості відрізняється по відношенню до датчиків PS встановлених на леміші тому, що збільшення швидкості призводить до зменшення грудок. Отже, інерційний вплив грудок на тиск повинен бути менш сильним, як це також продемонстровано більшою кількістю пікових стрибків нижче 100 кПа при 5,7 км/год. порівняно з отриманими даними на швидкості 3,5 км/год.

Для польової дошки навпаки, швидкість не впливає на розподіл тиску (рис. 3.7). Польова дошка (датчики WP) знаходиться в задній частині корпуса плуга і не відповідає за різання ґрунту і тому на тиск не впливає зміна швидкості.

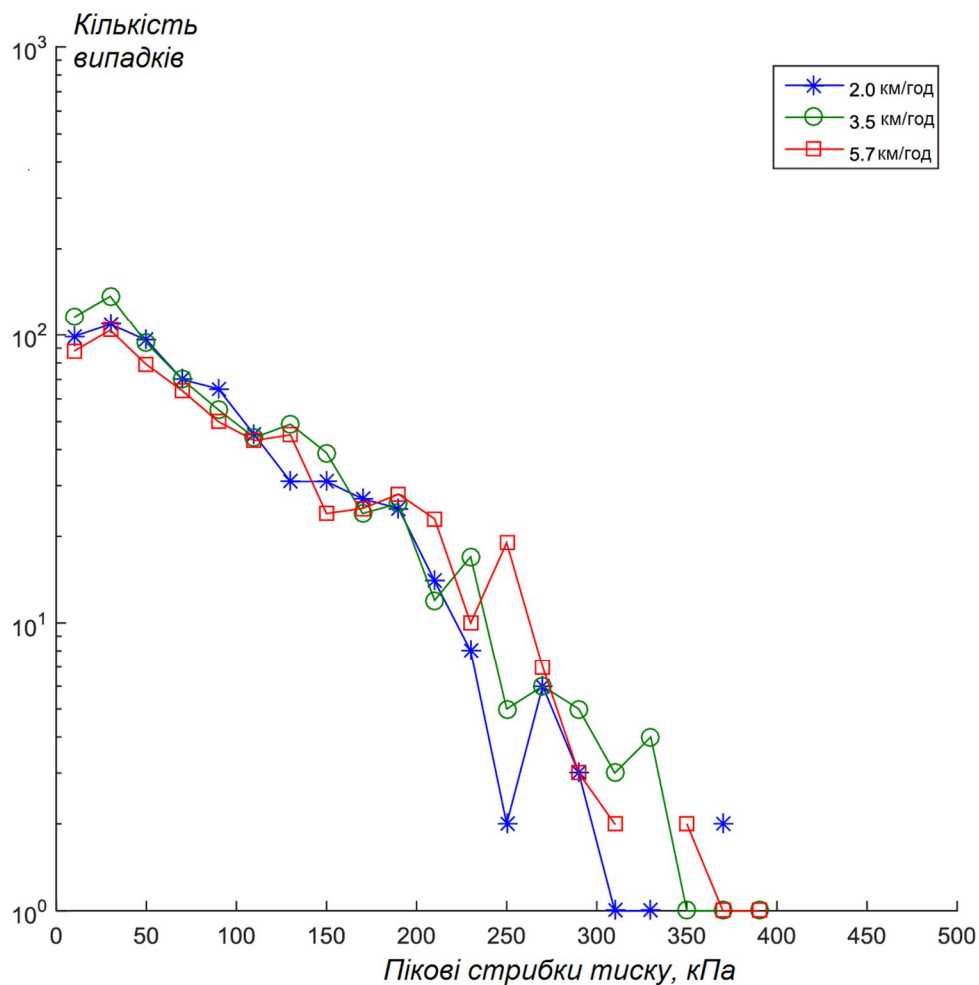


Рис. 3.7. Розподіл пікових стрибків для WP2 на різних швидкостях випробовування

Криві залежності тиску від швидкості представлені на рис. 3.8. Для польової дошки залежності не будувалися, оскільки тиск на поверхні погано корелюється зі швидкістю руху.

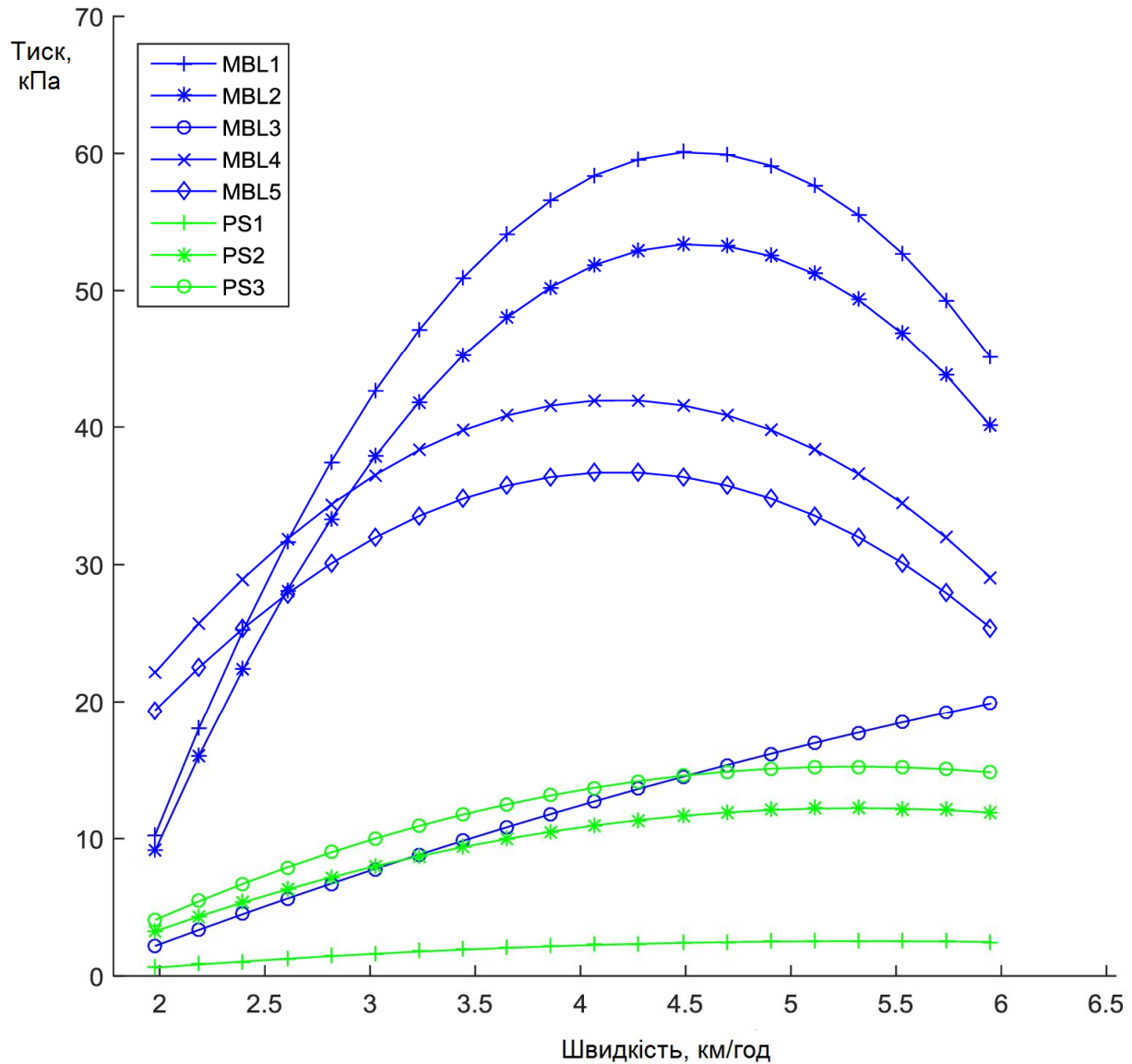


Рис. 3.8. Залежність тиску на поверхні робочих органів плуга від швидкості.

Максимальні тиски для відвалу (за винятком датчика MBL3) спостерігається в діапазоні швидкостей 4,2...4,5 км/год, а потім тиск зменшується. Для лемешів спостерігається інша закономірність, де тиск зростає до досягнення швидкості 5,3 км/год., а потім він майже постійний.

### **Висновки по розділу 3**

В результаті досліджень встановлені закономірності зміни тиску на поверхні тертя в залежності від швидкості руху та глибини обробітку для різних робочих органів плуга.

Отримані результати досліджень можуть бути використані для правильно підбору зносостійких матеріалів робочих органів плуга та дозволять проводити прискорені випробування для оцінки довговічності робочих органів плугів в реальних робочих умовах.

## ВИСНОВКИ

Однією з основних цілей виробника сільськогосподарських машин є проектування машин з високими показниками надійності. Підвищення рівня надійності сільськогосподарських машин дозволяють суттєво економити витрати та зменшити простої машин. Оцінка довговічності ґрунтообробних машин при проектуванні є дуже важливою задачею, оскільки данні машини володіють найменше надійністю. Це пов'язано з тим, що обробіток ґрунту виконується в результаті механічної взаємодії ґрунт – робочий орган. Зокрема, плуг зрізає, розпушує і повертає верхній шар ґрунту, розвиваючи високу силу тяги на трактор.

Оскільки оранка є високоенергетичною операцією, було розроблено багато числових моделей та експериментальних випробувань для підвищення ефективності роботи плугів шляхом оптимізації форми робочих органів. Більше того, ефективність та довговічність плуга суворо корелюють, оскільки робочі органи піддається особливо сильному зносу під час роботи. Початкова форма плуга, хоча і оптимізована, змінюється внаслідок явищ зносу протягом експлуатації. Характеристики робочих органів сильно змінюються через явища зносу, це впливає на якість обробітку ґрунту, витрати на технічне обслуговування та витрату палива трактора.

На швидкість зносу робочих органів для обробітку ґрунту впливають характеристики ґрунту, відносна твердість матеріалу щодо твердості абразивних частинок ґрунту та розподіл тиску ґрунту на поверхні тертя робочих органів. Що стосується останнього, то одним із можливих методів прогнозування розподілу тиску на всій поверхні робочих органів є точна математична модель. Математичні моделі розподілу тиску по поверхні можна поділити на дві макрокатегорії: аналітичні моделі та чисельні моделі. Отримані результати є вирішальними для проектування оптимізованих робочих органів, хоча моделі повинні перевірятися експериментальними дослідженнями. Тому

метою цієї магістерської роботи була розробка методики випробувань здатної вимірювати та оцінювати розподіл тиску на робочому органі плуга за допомогою тактильних датчиків. Першим кроком, який було зроблено для досягнення цієї мети, була розробка надійної системи захисту для всіх тактильних датчиків. Після декількох експериментальних випробувань розроблена система захисту продемонструвала свою достатню міцність, щоб забезпечити необхідний захист від дії ґрунту і одночасно гарантує необхідну чутливість датчиків.

Проведені польові випробування з оборотним плугом Gruppo Nardi 4, приєднаним до трактора New Holland T7.260 з різною швидкістю та глибиною оранки. Результати показують, що на значення тиску впливає швидкість і глибина обробітку, але кожна частина робочого органу має свою характерну поведінку. Різна поведінка частин плуга в основному зумовлена різною роллю, яку вони відіграють у процесі різання ґрунту. Тиск на поверхні робочих органів плуга носить стрибкоподібний характер, таку поведінку можна пояснити зернистою структурою ґрунту, яка визначає непостійний контакт між ґрунтом та робочим органом у деяких точках.

Прийняття виробниками сільськогосподарських машин встановленої числової моделі розподілу тиску, при проектуванні геометрії робочих органів плугів, дозволить підвищити ефективність плуга за рахунок оптимізації геометричних параметрів робочих органів для зменшення тиску, що в свою чергу дозволить підвищити їх довговічність.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Денисенко М. І., Рубльов В. І. Технологічні методи забезпечення довговічності робочих органів і надійності сільськогосподарських машин. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2013. Вип. 43(2). С. 7-17.
2. Комар Р. Шляхи підвищення надійності сільськогосподарських машин в процесі експлуатації. *Техніка і технології АПК*. 2014. №5 (56) С. 16-18.
3. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. Київ : Держстандарт України, 1994. 36 с.
4. Ткачев В. Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин. Москва : Машиностроение, 1971. 264 с.
5. Денисенко М. Зношування та підвищення довговічності робочих органів сільськогосподарських машин. *Вісник ТНТУ*. 2011. Спецвипуск. С.201-210.
6. Михальченков А.М. Повышение износостойкости плужных лемехов нанесение упрочняющих валиков в области наибольшего износа. *Ремонт, восстановление, модернизация*. 2007. №9. С. 17-19.
7. Ермолов Л. С. Повышение надежности сельскохозяйственной техники. Москва : Колос, 1979. 286 с.
8. Трибологія: підруч. / М.В. Кіндрачук, В.Ф.Лабунець, М.І. Пашечко, Є.В. Корбут. Київ: Нац. авіац. ун-т, 2009. 392 с.
9. Василенко М. О., Буслаєв Д. О., Матвійченко В. С. Покращення ресурсних показників відновлення робочих органів ґрунтообробних машин. *Механізація та електрифікація сільського господарства : міжвід. темат. наук. зб. Глеваха*, 2012. Вип. 96. С. 533–542.
10. Дудніков А. А. Підвищення надійності органів ґрунтообробних машин. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2014. № 3. С. 172-177.

11. Пасюта А. Г. Определение характера износа режущих элементов почвообрабатывающих машин. *Технологический аудит и резервы производства*. 2014. № 6/1(20). С. 8–11.
12. Василенко М. О., Чернявський О. О., Матвійченко В. С., Нечипоренко В. О. Дослідження деформаційних змін лемішних робочих органів при електроерозійній обробці. *Механізація та електрифікація сільського господарства : міжвід. темат. наук. зб. Глеваха, 2008. Вип. 92. Т. 2. С. 428–433.*
13. Синеоков Г. Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. Москва : «Машиностроение», 1977. 328 с.
14. Винокуров В. Н. Исследование, разработка и внедрение в производство самозатачивающихся рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий : монографія. Москва : ГОУ ВПО МГУЛ, 2009. 311 с.
15. Carlberg C. Regression Analysis Microsoft Excel Pearson Education, Inc. 2016. 368 p.
16. Berk R. A. Regression Analysis: A Constructive Critique Thousands Oaks: Sage Publications, 2004. 281 p.
17. Thrane C. Applied Regression Analysis: Doing, Interpreting and Reporting Routledge, 2020. 198 p.
18. Wu C. F. J., Hamada M.S. Experiments: Planning, Analysis, and Optimization Wiley 2009, 743 p.
19. Куприенко Н. В. Статистические методы изучения связей. Корреляционно-регрессионный анализ. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2008. 116 с.
20. Мамчич Т. І. Статистичний аналіз даних з пакетом STATISTICA Дрогобич: Видавнича фірма "Відродження", 2006. -208 с.
21. Бахрушин В. Є. Методи аналізу даних Навчальний посібник для студентів. Запоріжжя : КПУ, 2011. 268 с.

22. Коваленко І. І. Вступ до системного аналізу. Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. П. Могили, 2004. - 148 с.
23. Назаренко Л. А. Планування і обробка результатів експерименту Конспект лекцій. Харків: ХНАМГ, 2008. 163 с.