

УДК 631.312.44

DOI: 10.15587/1729-4061.2019.169903

## Дослідження впливу конструктивно-режимних параметрів на енергоємність плуга ПЛН-3-35

О. А. Дзюба, А. І. Дзюба, А. М. Поляков, В. О. Волох, Р. В. Антощенко,  
А. Д. Михайлов

Дослідження присвячено підвищенню ефективності технологічного процесу оранки ґрунту сільськогосподарських культур. На підставі проведених експериментальних досліджень технологічного процесу оранки визначено зусилля, що діють на механізм навіски трактора та польову дошку. Визначено, що універсальні корпуси плугів підвищують ефективність оранки за рахунок збільшення їх стійкості. Встановлено, що це приводить до зменшення енергоємності корпусу плуга при обробці ґрунту, а також забезпечується рівномірне зношення тертьової поверхні за рахунок зміни їх поверхні. Визначено, що необхідно проводити вдосконалення вузлів і деталей ґрунтообробних машин з метою збільшення термінів напрацювання на відмову робочих органів і зменшення їх тягового опору. Встановлено, що не достатньо досліджено вплив поперечної сили тиску, що діє на польові дошки плуга. Не приділено уваги по визначенню величини тягового зусилля кожної тяги механізму навіски тракторного агрегату. Один із резервів підвищення технологічних показників і зниження енергоємності орного агрегату – це конструктивне вдосконалення стандартної польової дошки плуга. Під час експериментальних досліджень використано вимірвальну систему динаміки та енергетики мобільних машин, що відноситься до технічних засобів діагностування та експлуатаційного контролю. Тензорезистори встановлювали на польову дошку плуга, середньої, лівої та правої тяг механізму навіски трактора. Визначено, що середнє значення поперечної сили тиску, яка діє на польову дошку, що встановлена на стійці першого корпусу плуга, становить 1610–1668 Н. На стійці другого корпусу – 1525–1630 Н; на стійці третього корпусу – 1848–1870 Н. Пропонується застосувати замість стандартної польової дошки начіпного лемішного плуга ПЛН-3-35 плоско-округлий елемент у вигляді диску зі ступицею з горизонтальною віссю обертання. Диск перетворює сили тертя ковзання в сили тертя кочення. Використання диску приводить до зниження енергоємності плуга на 13–15 %. Завдяки цьому зменшується тягове зусилля корпусів плуга, підвищується їх стійкість, знижується витрата паливо-мастильних матеріалів

Ключові слова: плоско-округлий елемент, польова дошка, корпус плуга, борозневі колеса, леміш

### 1. Вступ

Одна із основних і найбільш трудомістких і відповідальних операцій при підготовці ґрунту в осінній період є оранка. Необхідно заорювати рештки

стебел сільськогосподарських культур, які являються органічними добривами, а також накопичити вологу в ґрунті в зимово-весняний період для отримання стабільного врожаю сільськогосподарської продукції.

Основними робочими органами, які забезпечують якість оранки, являються корпуса плуга. Корпуса плуга експлуатуються в абразивному ґрунтовому середовищі і інтенсивно зношуються, змінюють свою форму і розміри. Середнє напрацювання на відмову робочих органів плуга становить: лемешів 5–20 га; грудей відвалів 10–100 га; польових дошок 20–60 га [1].

Для підвищення напрацювання на відмову і зменшення тягового опору робочих органів необхідно проводити вдосконалення вузлів і деталей ґрунтообробних машин.

## **2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми**

В роботі [1] наголошено, що оборотні плуги забезпечують гладку оранку без роз'ємної борозни. Виробники сільськогосподарської техніки такі, як «Lemken», «Rverneland» або «Vogel Noot», займаються питанням розробки начіпних і причіпних плугів з широкою номенклатурою плужних корпусів. Відрізняються плуги шириною захвату, формою і типом лемішно-відвальної поверхні, запобіжними пристроями, які забезпечені плужним корпусом оминати перешкоди у вигляді каменів. Але одна із деталей корпуса плуга – польова дошка – так і не зазнала конструктивних змін. Сила тертя ковзання між стінкою борозни і польовою дошкою призводить до підвищення сили тяги плуга та до збільшення енергоємності орного агрегату [1]. Відмовитись від польової дошки не можна тому, що, не дивлячись на простоту її конструкції, вона виконує важливу роль: запобігає зміщенню корпуса плуга вбік стінки борозни. Реакція ґрунту зі стінки борозни зрівноважує боковий тиск пласта, викликаний не симетричністю корпуса плуга. Визначено, що на кожну польову дошку плуга ПЛН-3-35 діє поперечна сила 1 кН, яка притискає її до стінки борозни. Це призводить до зносу польової дошки, а також за наявності цієї сили відбувається ущільнення ґрунту бокової стінки борозни, порушуючи тим самим його структуру, що в цілому підвищує енергоємність процесу обробітку.

Для розрахунку сили тяги плуга переважно використовують формулу Горячкіна [2, 3]. У формулі враховується вплив на величину тягового опору плуга його вага  $G$ , глибина обробітку  $a$ , ширина захвату  $b$ , властивості ґрунту  $k$  і швидкість руху плуга  $v$ . Але ця формула в очевидному вигляді не враховує впливу на величину сили  $P$  тертя польових дошок по стінках борозни. Однак у роботі [2] наголошено, що необхідно в подальшому уточнювати окремі члени цієї формули. Силою тертя ковзання, яка виникає між польовими дошками і стінками борозни, практично нехтували і помилково вважали, що вона по величині незначна. Тому необхідно вдосконалювати польову дошку плуга, виконувати пошуки більш ефективних, більш сучасних робочих органів машин для обробітку ґрунту.

Існують експериментальні зразки двох- і трьохкорпусних плугів, в яких для зниження зносостійкості польових дошок плуга за кожним із корпусів встановлювали горизонтально до дна борозни обгумлені котки з можливістю їх

регулювання відносно стінки борозни. Дані експериментальних досліджень свідчать, що корпус плуга з опорним обгумленим котком, встановленим горизонтально, має тяговий опір на 12 % менше, ніж корпус плуга з польовою дошкою [4].

В роботі [5] наведено результати теоретичних досліджень по визначенню тягового опору двохкорпусного плуга з опорним обгумленим котком. Такий коток встановлений горизонтально до дна борозни на другому корпусі і без польової дошки на першому корпусі плуга. Результати дослідження показали, що тяговий опір удосконаленого плуга був на 9,3 % менше, ніж тяговий опір серійного плуга з польовою дошкою.

Для зменшення зносу найбільш зношувальних ділянок деталей робочих органів корпусів плуга при обробі ґрунту у польовій дошці запропоновано виконати отвори. Осі отворів дошок встановлені під кутом у вигляді зрізаного конуса [6]. Це приводить до зниження тягового опору плуга.

Для зниження енергоємності начіпного лемішного плуга ПЛН-3-35 було встановлене борозневе колесо за кожним корпусом плуга на повідку. Кожне колесо шарнірно прикріплене до напрямної під кутом  $\alpha=25-45^\circ$  до дна борозни. Як показали дослідження, питома витрата палива з експериментальними борозневими колесами, встановленими за кожним корпусом начіпного плуга, зменшилась на 16–21 % [7, 8].

Запропоновано на кожне колесо плуга встановлювати механізм приводу у вигляді гідравлічного мотора. Енергетичний засіб зв'язаний через механізм регулювання, що підвищує ефективність за рахунок збільшення стійкості орного агрегату і зменшення тягового зусилля на переміщення під час роботи [9]. Такий механізм приводу підвищує складність та вартість конструкції і одночасно знижує надійність.

Одним із ефективних способів є відмова від стандартної польової дошки і заміна її на циліндричний барабан. Розташований барабан по висоті заглиблення корпусу в ґрунт з вертикальною віссю обертання, що дозволить зменшити величину сил тертя і витрати паливо-мастильних матеріалів [10].

Заміна польової дошки на плоско-округлий елемент з вертикальною віссю обертання у вигляді дискового ножа, розташованого в нижній частині стояка, дозволила зменшити енергоємність корпусу плуга [11]. З метою зменшення ковзання плоско-округлого елемента по стінці борозни і запобігання виглиблення його запропоновано застосувати на глибині розміщення леміша дисковий ніж з вирізами. Дисковий ніж встановлений під кутом у напрямку переміщення корпусу плуга [12]. За рахунок величини поперечної сили з боку відвальної скиби відбувається заглиблення ножа в стінку борозни на глибині розміщення леміша. Це обумовлює використання негативних сил для виконання корисної роботи підрізання скиби ґрунту [13].

Для зниження енергоємності технологічного процесу оранки одним із ефективних способів є відмова від стандартної польової дошки і заміна її на циліндричний барабан, що дозволить зменшити величину сил тертя. Вибір конструктивно-технологічних параметрів циліндричного барабана залежить від ряду експлуатаційних та ґрунто-кліматичних умов. Отримані теоретичні

залежності дозволяють визначити радіус барабана циліндричної польової дошки і величину плеча дії сили опорної реакції зі сторони стінки борозни для рівноваги корпусу плуга [14].

З метою збільшення терміну напрацювання на відмову стандартної польової дошки виготовляються плуги навісні борозневі серії ПЛН-3-35, ПЛН-4-40 і ПЛН-5-40. На задньому кінці польових дошок зверху встановлені пластини розміром 0,16 м шириною, 0,13 м довжиною і товщиною 0,018 м. Це дозволяє в разі її стирання замінювати не польові дошки, а тільки ці пластини.

В роботах [15, 16] наведено результати експериментальних досліджень орного агрегату де встановлено залежності найбільшої питомої продуктивності плугів загального призначення від швидкості. Але в роботі розглянуті швидкісні режими, що не характерні для орних агрегатів, тобто поступальна швидкість корпусу плуга повинна знаходитись в межах 1–3 м/с.

В дослідженні, яке проводилось з застосуванням покриття робочої поверхні корпусу плуга фторопластом, покриття дозволило зменшити енергоємність процесу оранки на 55 % [16]. Застосування сталі, чавуну, наплавлювання, керамічних і композиційних матеріалів також зменшує енергоємність процесу оранки [17].

Оранка ґрунту є найбільш енергоємною операцією в рослинництві. Було визначено, що зниження споживаної потужності леміша, як найбільш навантаженого робочого інструменту плуга, можливо за рахунок коливань або зміни його параметрів [19].

Тобто удосконаленням корпусів плуга займаються ряд вчених, але комплексно проблема створення сімейства корпусів плуга для різних умов їх використання не вирішувалась. Досліджується проблема зменшення тягового опору робочих органів в ґрунті. Підсумовуючи вище приведене, можна зробити такі висновки:

- не достатньо досліджено вплив поперечної сили тиску, що діє на польові дошки плуга;

- не достатньо приділено уваги по визначенню величини тягового зусилля кожної тяги механізму навіски тракторного агрегату так, як створення тензометричного механізму навіски потребує значних витрат;

- відсутні технічні рішення по усуненню такого технологічного недоліку, присутнього польовій дошці як наявність сили тертя ковзання по стінки борозни, що призводить до збільшення тягового зусилля тракторного агрегату і збільшення витрати паливо-мастильних матеріалів при оранці ґрунту.

Тому потребує вирішення науково-прикладна проблема визначення впливу конструктивно-режимних параметрів на енергоємність плуга.

### **3. Мета і завдання дослідження**

Метою дослідження є визначення напрямків зменшення енергоємності начіпного плуга (на прикладі начіпного плуга ПЛН-3-35 в агрегаті з трактором МТЗ-82).

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести експериментальні дослідження по визначенню залежності поперечної сили від швидкості та місця розташування польової дошки;
- провести експериментальні дослідження по визначенню залежності тягових зусиль кожної тяги навіски трактора від швидкості руху;
- обґрунтувати шляхи зниження енергоємності плуга.

#### 4. Матеріали і методи дослідження

##### 4. 1. Вимірювальна система та розташування тензорезисторів на польовій дошці і тягах механізму навіски трактора

Для проведення експериментальних досліджень в польових умовах з метою визначення тягових характеристик плуга застосовують різні вимірювальні системи [16, 17, 20, 21].

Була застосована вимірювальна система динаміки та енергетики мобільних машин (ВСДЕММ), що відноситься до технічних засобів діагностування та експлуатаційного контролю і може бути використана в сільському господарстві. Вимірювальна система призначена для визначення кінематичних, динамічних, потужнісних та енергетичних характеристик мобільних машин та їх елементів при польових випробуваннях [22, 23]. Структурну схему ВСДЕММ наведено на рис. 1.

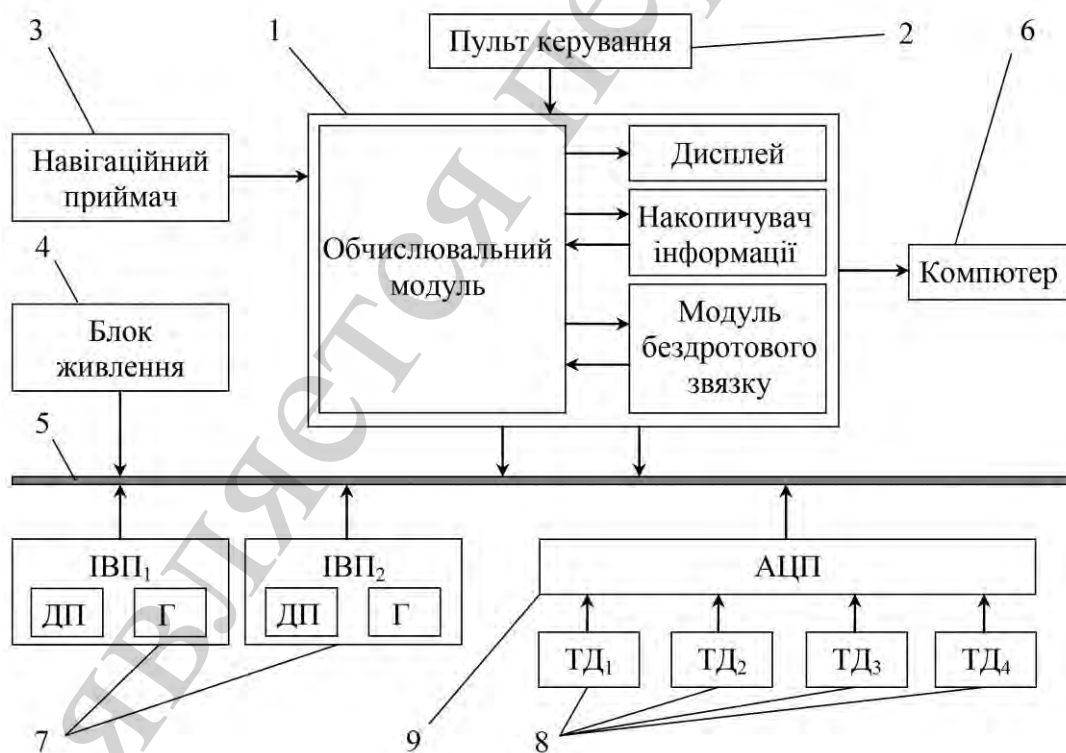


Рис. 1. Структурна схема вимірювальної системи динаміки та енергетики мобільних машин: 1 – обчислювальний модуль; 2 – пульт керування; 3 – навігаційний пристрій; 4 – блок живлення; 5 – шина даних CAN; 6 – комп'ютер; 7 – інерційний вимірювальний пристрій; 8 – тензодатчики; 9 – аналогово-цифровий перетворювач (АЦП)

Розташування тензорезистора на тягах механізму навіски та польовій дошці наведено на рис. 2, 3.

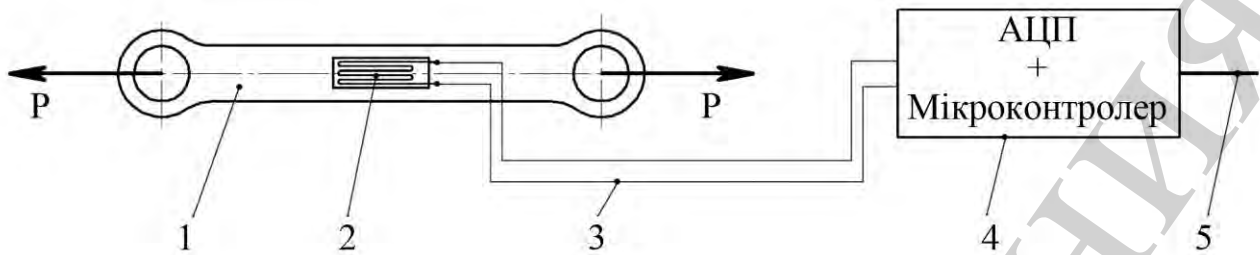


Рис. 2. Розташування тензорезистора на тягах механізму навіски трактора: 1 – тяга; 2 – тензодатчик; 3 – сигнальні проводи; 4 – АЦП та мікроконтролер; 5 – CAN-шина

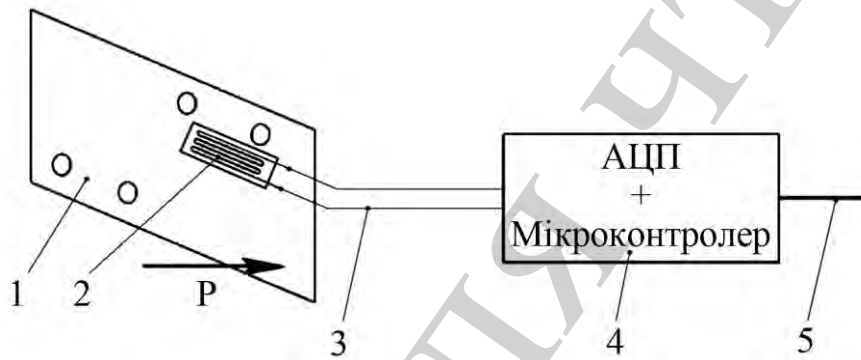


Рис. 3. Розташування тензорезистора на польовій дошці: 1 – польова дошка; 2 – тензорезистор; 3 – сигнальні проводи; 4 – АЦП та мікроконтролер; 5 – CAN-шина

Основними складовими частинами вимірювальної системи (рис. 1) являються обчислювальний модуль, датчики, блок живлення. Обчислювальний модуль призначений для обробки, візуалізації та збереження даних, що надходять із датчиків. Блок живлення дозволяє вимірювальній системі працювати автономно або отримувати живлення від бортової системи агрегату.

#### 4. 2. Градування тензометричного обладнання

Для градування тензометричних датчиків, встановлених на тягах механізму навіски трактора та польовій дошці, використовувався стенд. Стенд дозволяє послідовно з'єднати повірений динамометр з тягами механізму навіски трактора та польовою дошкою, встановлювати необхідне навантаження і підтримувати його на протязі тривалого часу. В якості зразкового динамометра обрано ДПУ-50-2, який повірено ННЦ Інститутом метрології (м. Харків, Україна).

Градування виконано для тензодатчика польової дошки, середньої, правої та лівої тяг навіски трактора.

Залежність сили навантаження на польову дошку від кодів АЦП приведена на рис. 4.

Залежність сили навантаження на середній тязі механізму навіски трактора від кодів АЦП рис. 5.

Залежність сили навантаження на лівій тязі механізму навіски трактора від кодів АЦП рис. 6.

Залежність сили навантаження на правій тязі механізму навіски трактора від кодів АЦП рис. 7.

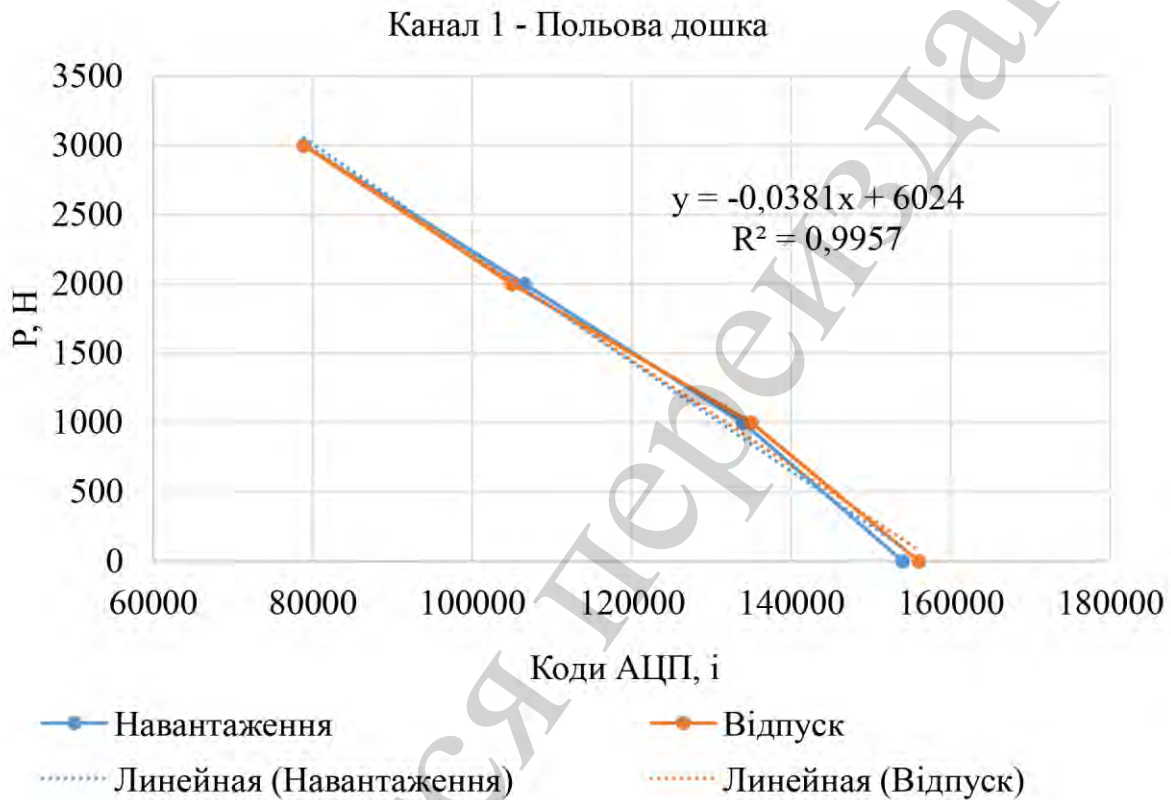


Рис. 4. Залежність сили навантаження на польову дошку від кодів АЦП

Залежність сили навантаження на польову дошку від кодів АЦП:

$$P_1 = -0,038i + 6024, \quad (1)$$

де  $i$  – коди АЦП.

Коефіцієнт детермінації для результатів градування тензодатчика на польовій дошці дорівнює  $R^2=0,9957$ , що свідчить про наявність залежності та її коректності.

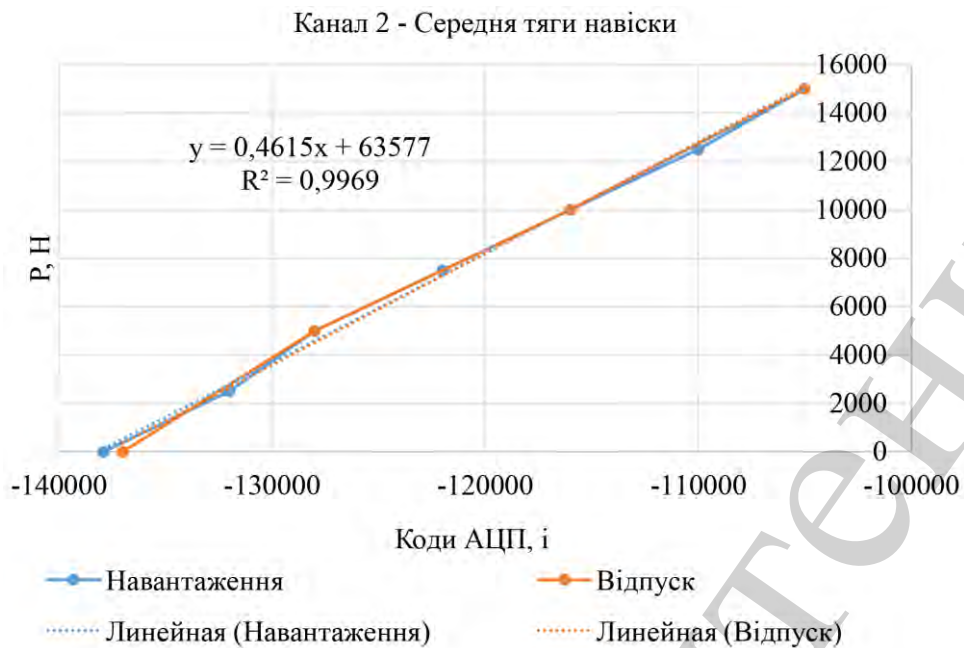


Рис. 5. Залежність сили навантаження на середній тязі механізму навіски трактора від кодів АЦП

Для середньої тяги механізму навіски трактора маємо наступну залежність сили навантаження та кодів АЦП:

$$P_2 = 0,4615i + 63577 . \quad (2)$$

Коефіцієнт детермінації дорівнює  $R^2=0,9969$ , що також свідчить про наявність залежності та її коректності.

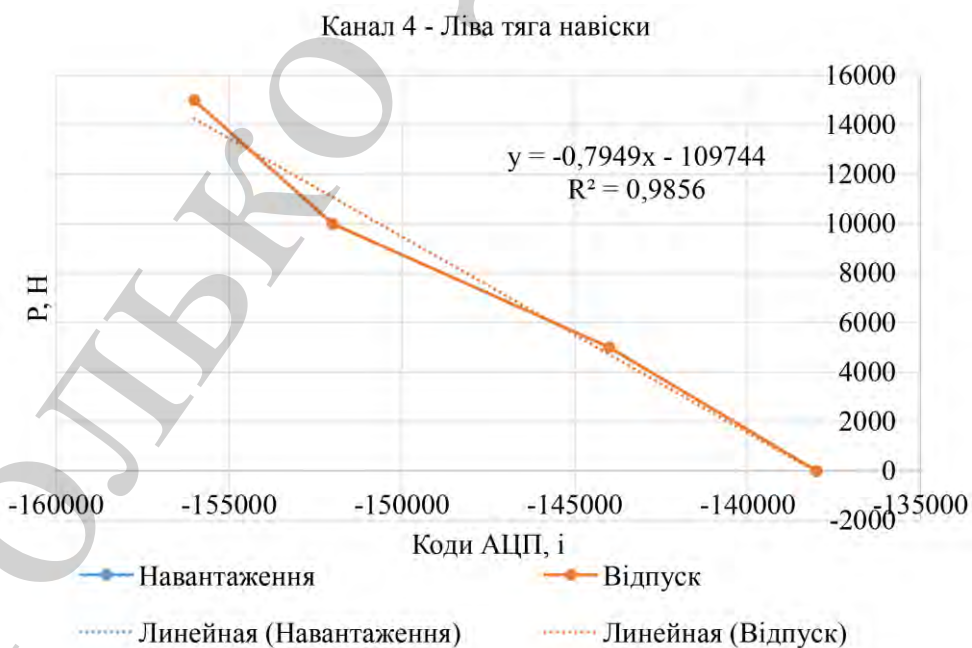


Рис. 6. Залежність сили навантаження на лівій тязі механізму навіски трактора від кодів АЦП



Для лівої тяги механізму навіски трактора маємо наступну залежність сили навантаження та кодів АЦП:

$$P_4 = -0,7949i - 109744. \quad (3)$$

Коефіцієнт детермінації дорівнює  $R^2=0,983$ , що свідчить про наявність залежності та її коректності.

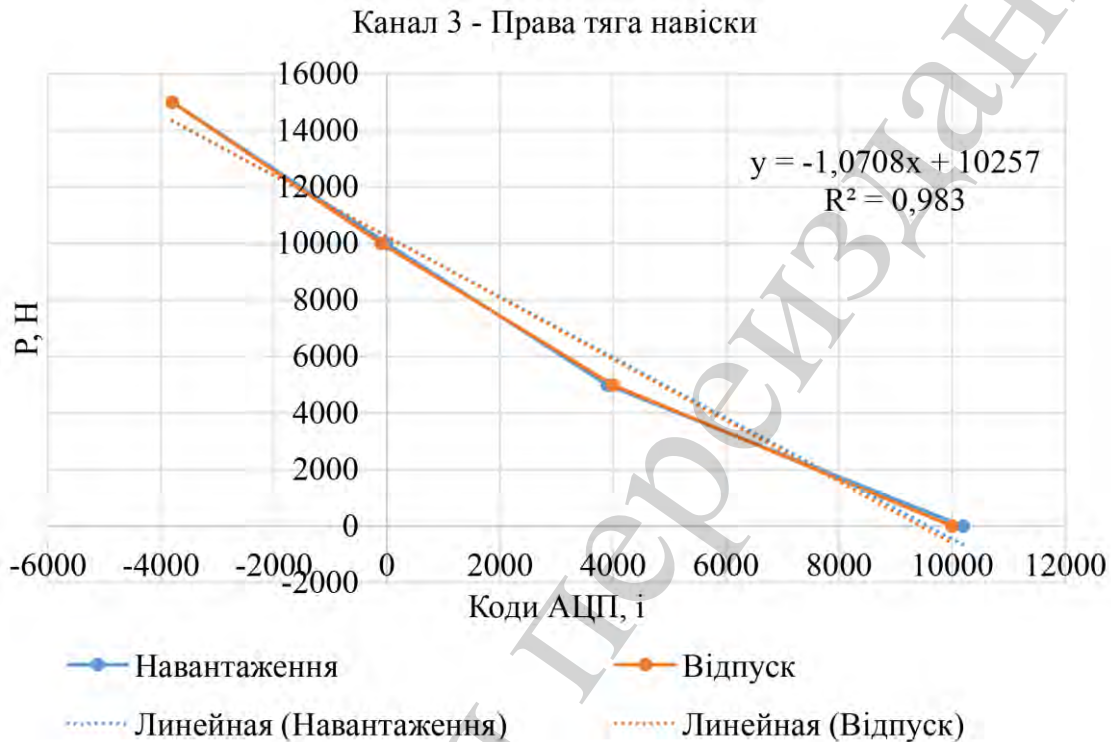


Рис. 7. Залежність сили навантаження на правій тязі механізму навіски трактора від кодів АЦП

Останньою встановлено залежність сили навантаження на правій тязі механізму навіски трактора та кодів АЦП, яка має вигляд:

$$P_1 = -1,0708i + 10257. \quad (4)$$

Коефіцієнт детермінації дорівнює  $R^2=0,9856$ , що свідчить про наявність залежності та її коректності.

Гістерезис для тензорезисторів складає не більше 5 %.

Дослідження проводилися на полях Харківської області в листопаді місяці 2018 р. Грунт «чорнозем звичайний», попередня культура – картопля, твердість ґрунту по шарах становила на поверхні 2,71 кПа, на глибині 0,1 м – 3,03 кПа, а на глибині 0,2 м твердість становила 4,52 кПа. Вологість ґрунту на поверхні становила 13,2 %, на глибині 0,1 м – 15,9 %, а на глибині 0,2 м становила 16,1 %. Глибина оранки 0,25 м.

#### 4. 3. Експериментальні дослідження по визначенню поперечної сили тиску і тягового зусилля плуга

Тензорезистор польової дошки плуга під'єднано до першого каналу АЦП та позначається надалі як  $P_1$ . Тензорезистор середньої тяги механізму навіски під'єднано до другого каналу АЦП –  $P_2$ , ліва тяга до каналу 4 і позначено  $P_4$ , а права тяга до каналу 3 і позначається  $P_3$ .

Швидкість оранки машинно-тракторного агрегату вибрали 1,5 м/с; 2,5 м/с і 3,0 м/с.

Загальний вигляд машинно-тракторного агрегату у складі трактора МТЗ-82 і начіпного лемішного плуга ПЛН-3-35 з встановленою вимірювальною системою та датчиками наведено на рис. 8.



Рис. 8. Загальний вигляд машинно-тракторного агрегату у складі трактора МТЗ-82 і начіпного лемішного плуга ПЛН-3-35 з встановленою вимірювальною системою та датчиками

Загальний вигляд тензорезисторів, встановлених на правій, лівій та середній тягах навіски трактора, приведено на рис. 9–11.



Рис. 9. Загальний вигляд тензорезистора, встановленого на правій тязі навіски трактора



Рис. 10. Загальний вигляд тензорезистора встановленого на лівій тязі навіски трактора



Рис. 11. Загальний вигляд тензорезистора встановленого на середній тязі навіски трактора

При проведенні експериментальних досліджень було прийнято рішення встановити на стійку третього корпусу плуга польову дошку з тензорезистором. Загальний вигляд приведено на рис. 12, 13.



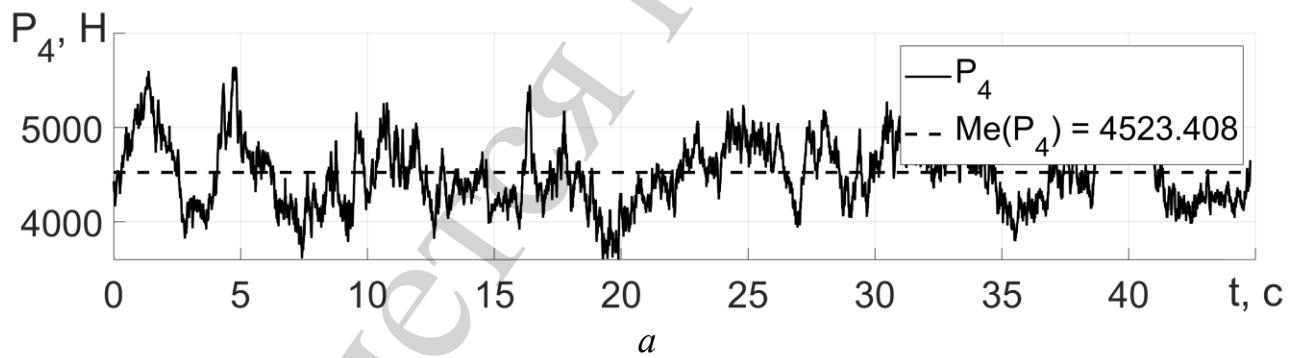
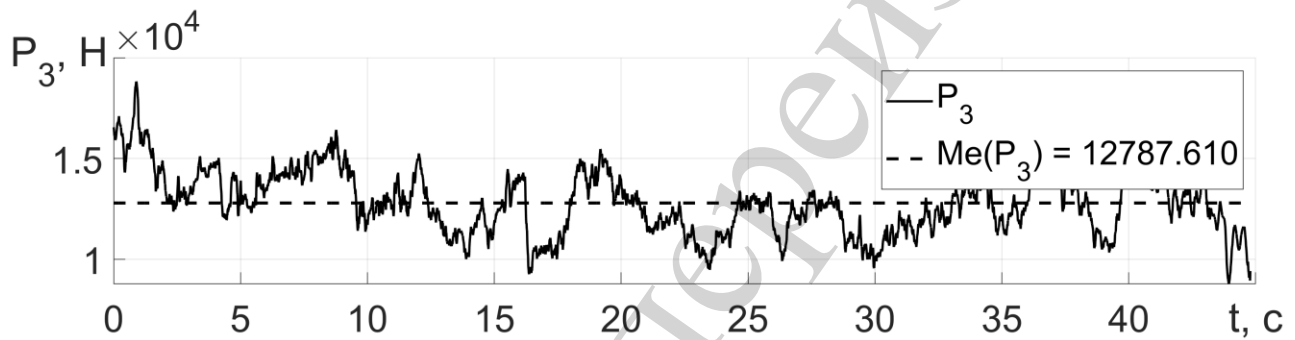
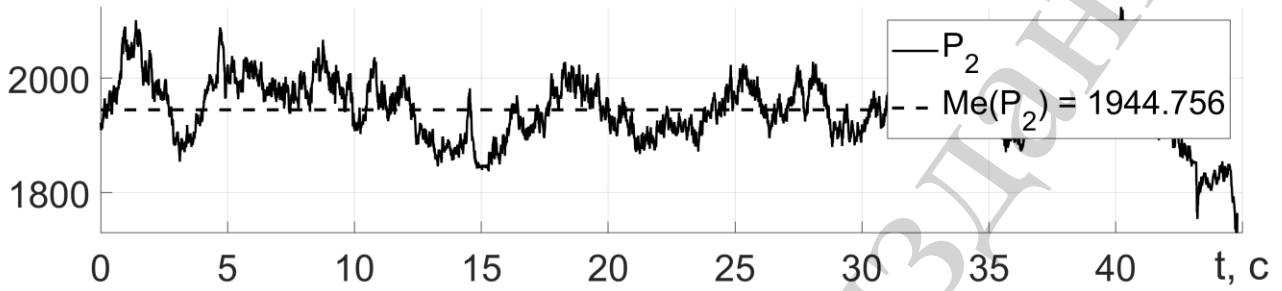
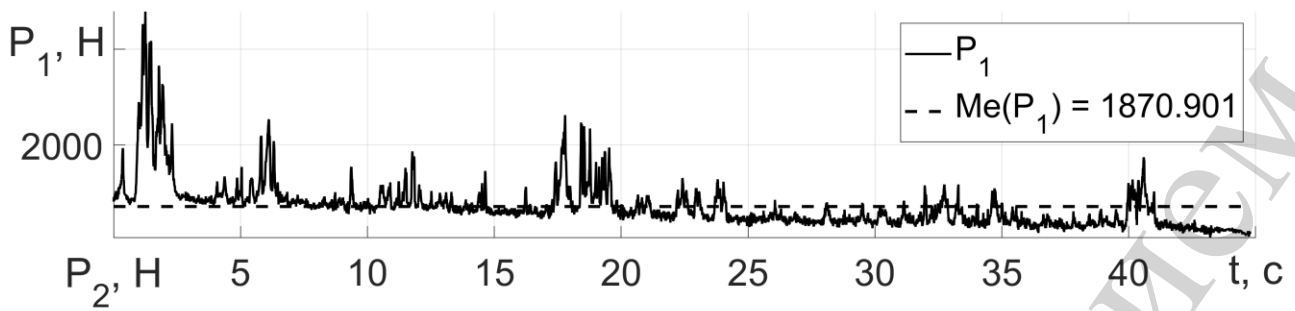
Рис. 12. Загальний вигляд трактора МТЗ-82 з начіпним лемішним плугом ПЛН-3-35 та польової дошки з тензорезистором встановленим на стійці третього корпусу плуга



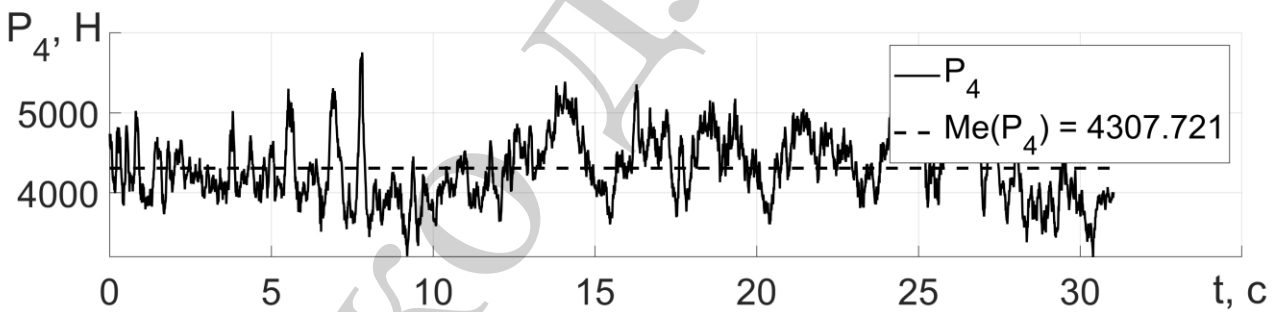
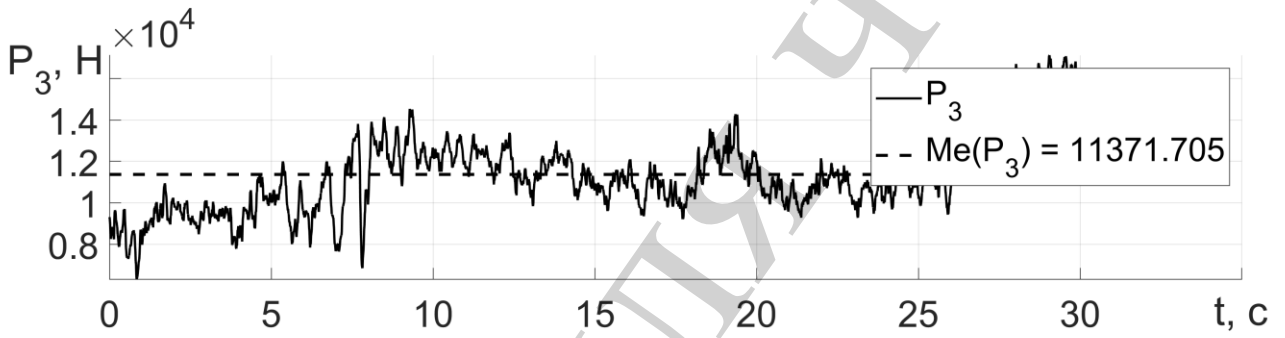
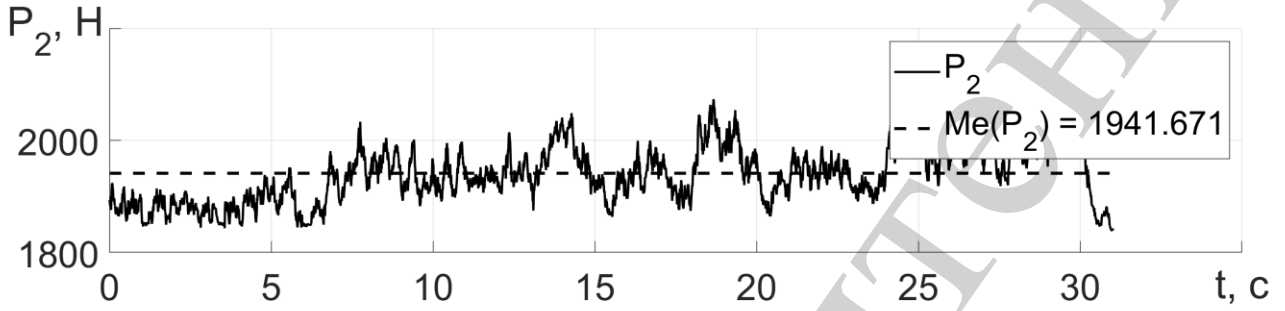
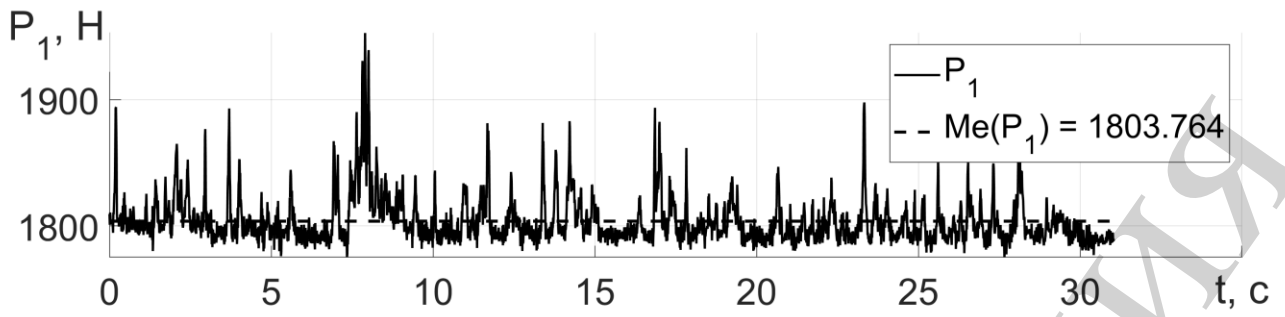
Рис. 13. Вигляд збоку польової дошки з тензорезистором встановленим на стійці третього корпусу плуга

#### **5. Результати експериментальних досліджень величини поперечної сили тиску на польові дошки та тягових зусиль навіски трактора**

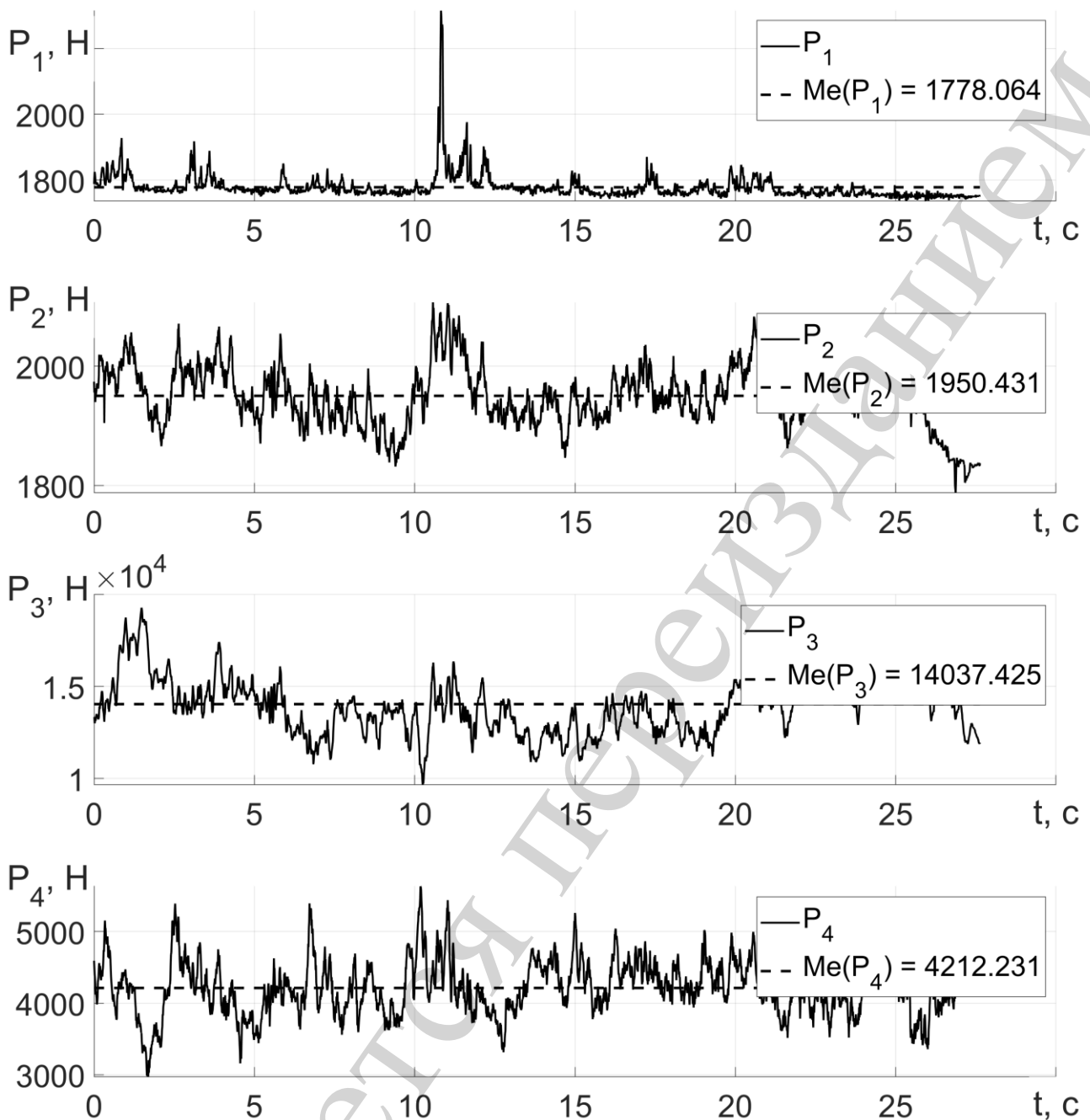
На рис. 14 наведено загальний вигляд діаграм поперечної сили  $P_1$ , що діє на польову дошку, встановлену на стійці третього корпусу плуга. Діаграми тягових зусиль кожної навіски трактора  $P_2$ ,  $P_3$ , і  $P_4$ , при швидкості руху тракторного агрегату 1,5 м/с; 2,5 м/с; 3,0 м/с.



*a*



б



6

Рис. 14 Діаграми поперечної сили  $P_1$ , що діє на польову дошку, встановлену на стійці третього корпусу плуга при швидкості руху тракторного агрегату:  $a - 1,5$  м/с;  $b - 2,5$  м/с;  $c - 3,0$  м/с та тягових зусиль кожної тяги навіски трактора  $P_2, P_3$ , і  $P_4$

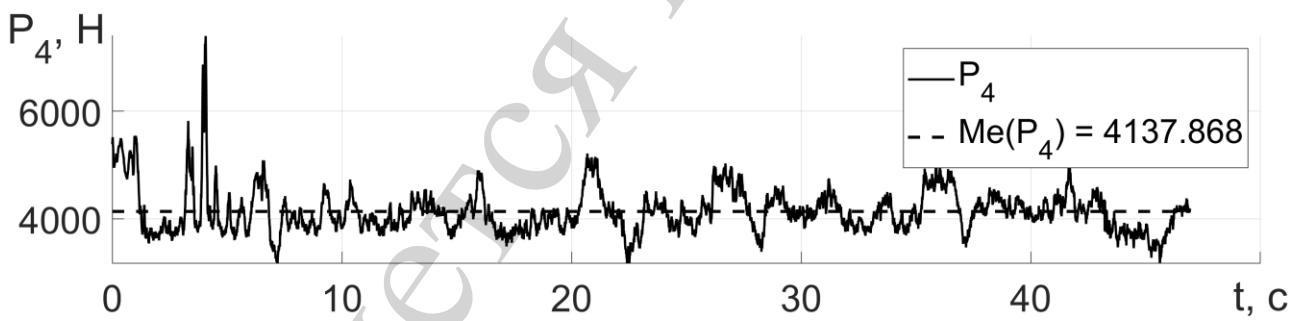
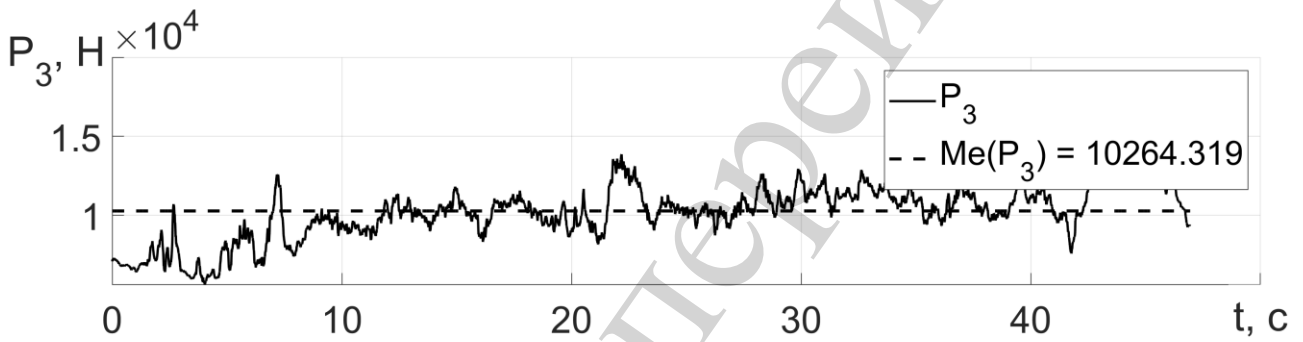
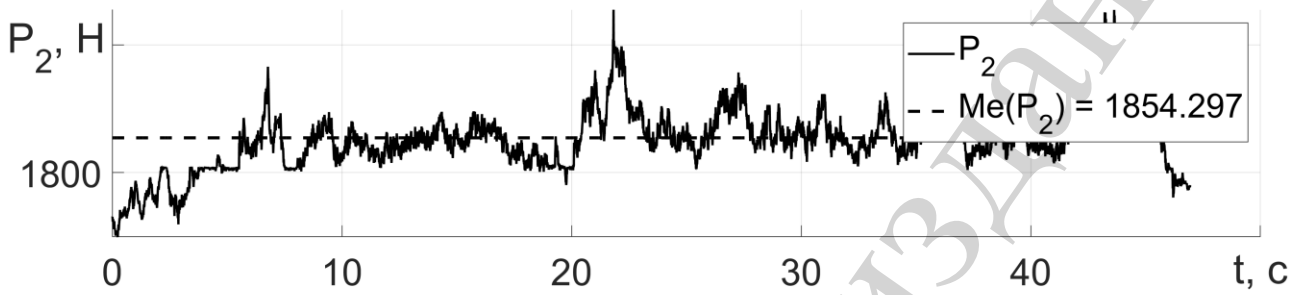
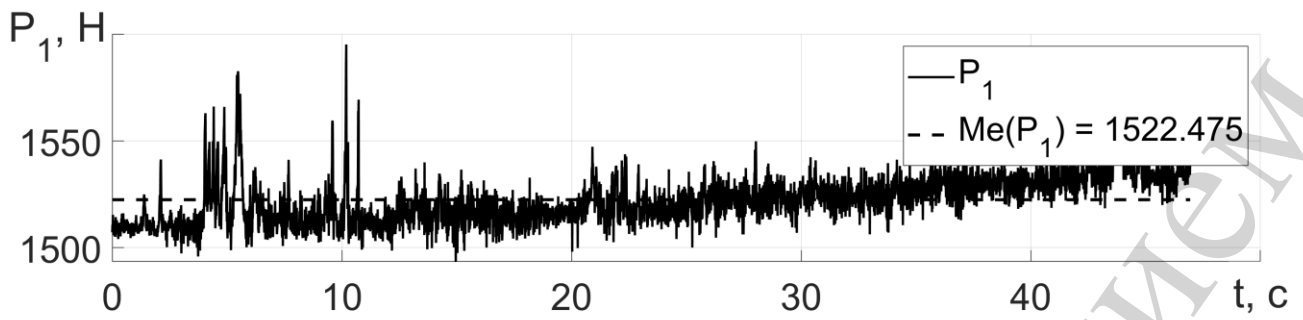
Схема розташування датчиків на машинно-тракторному агрегаті при проведенні експериментальних досліджень польової дошки, яка встановлена на стійці другого корпусу плуга, приведена на рис. 15.



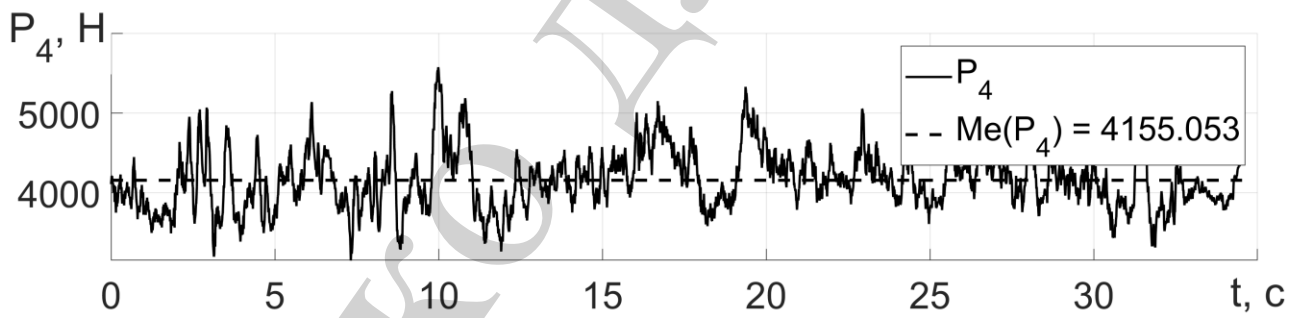
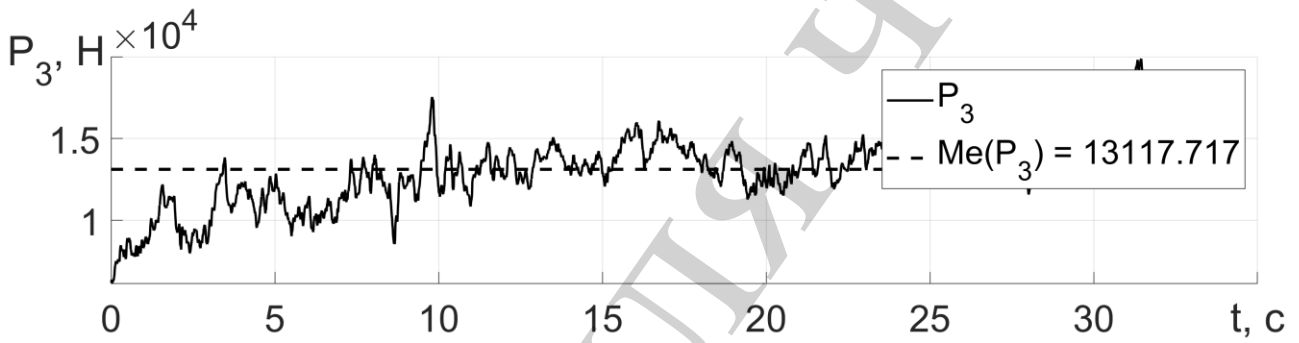
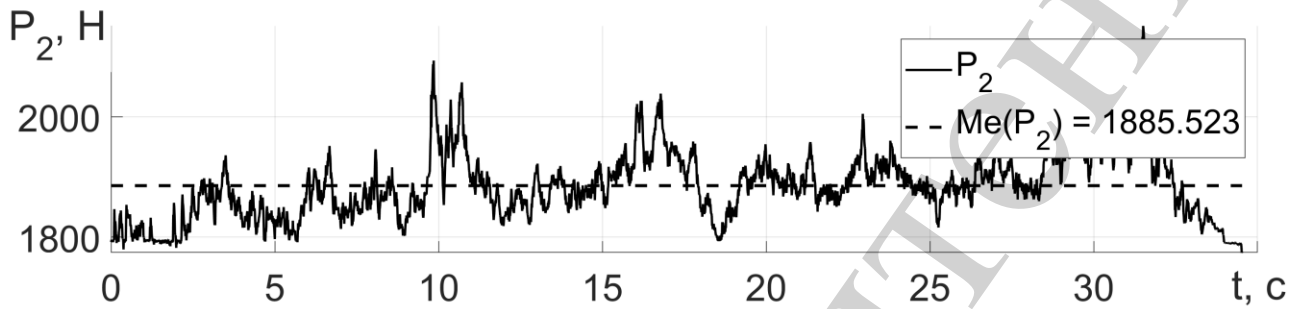
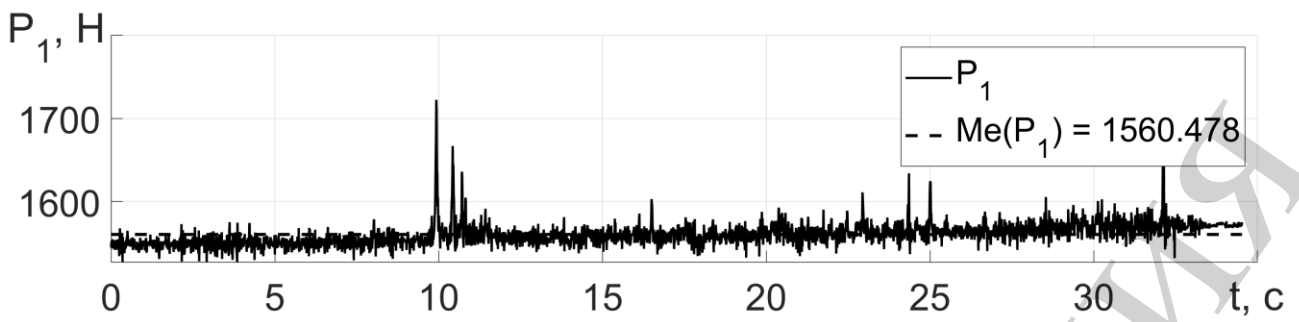
Рис. 15. Загальний вигляд трактора МТЗ-82 з начіпним лемішним плугом ПЛН-3-35 та польової дошки з тензорезистором, встановленої на стійці другого корпусу плуга

На рис. 16 приведено загальний вигляд діаграм поперечної сили  $P_1$ , що діє на польову дошку, встановлену на стійці другого корпусу плуга. Діаграми тягових зусиль кожної навіски трактора  $P_2$ ,  $P_3$ , і  $P_4$ , при швидкості руху тракторного агрегату 1,5 м/с; 2,5 м/с; 3,0 м/с.





*a*



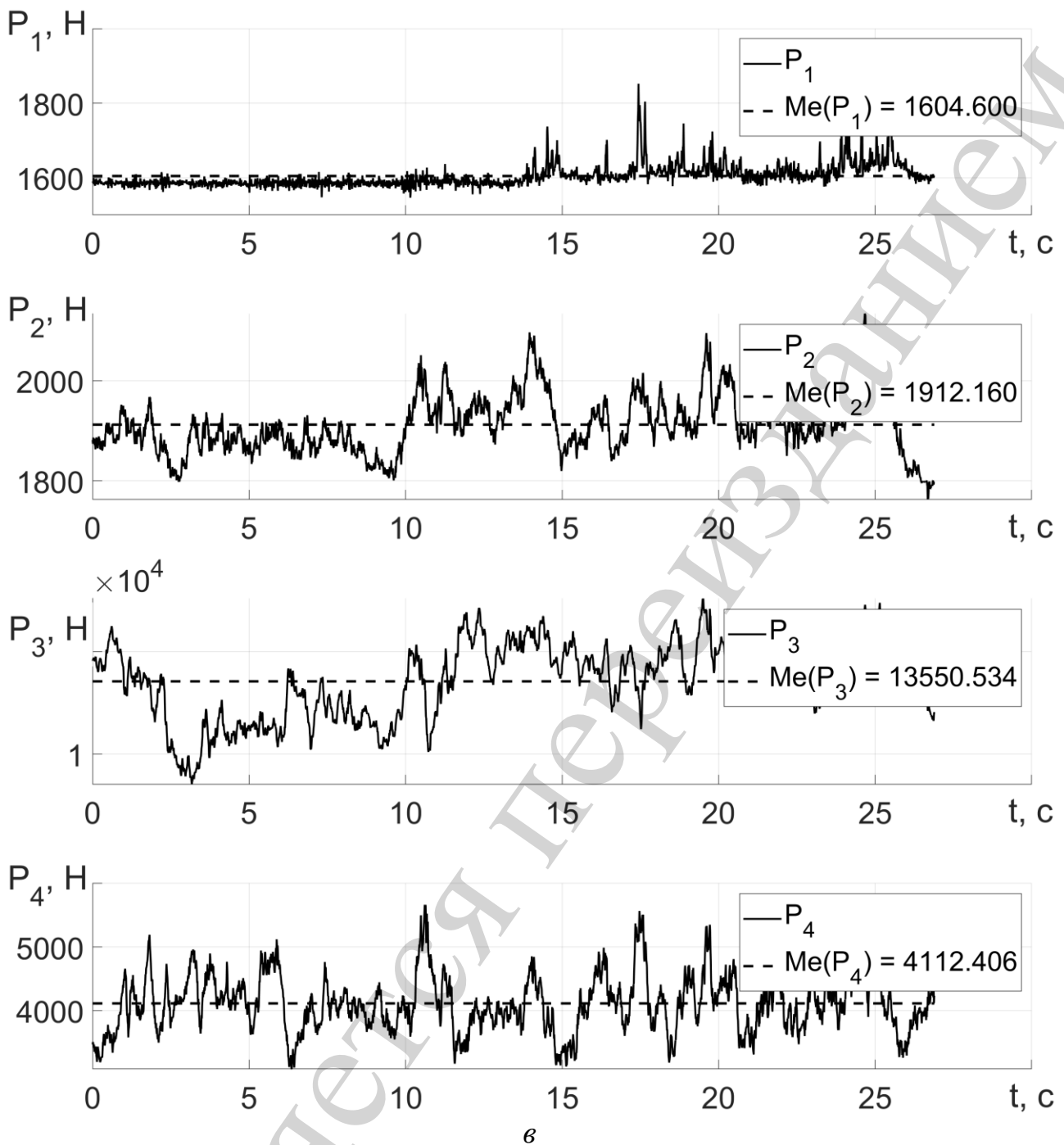


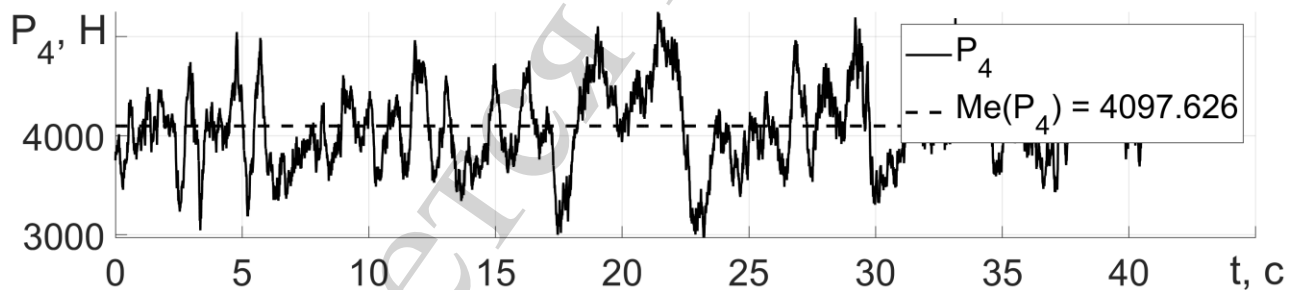
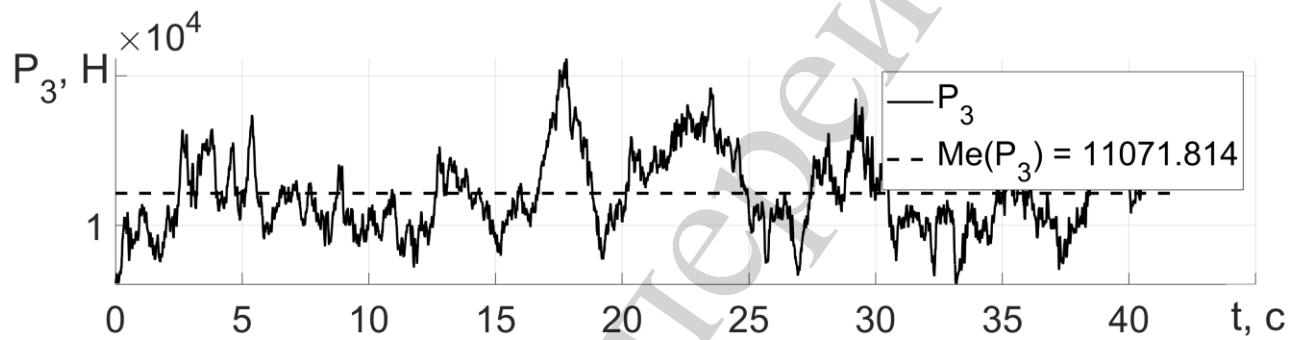
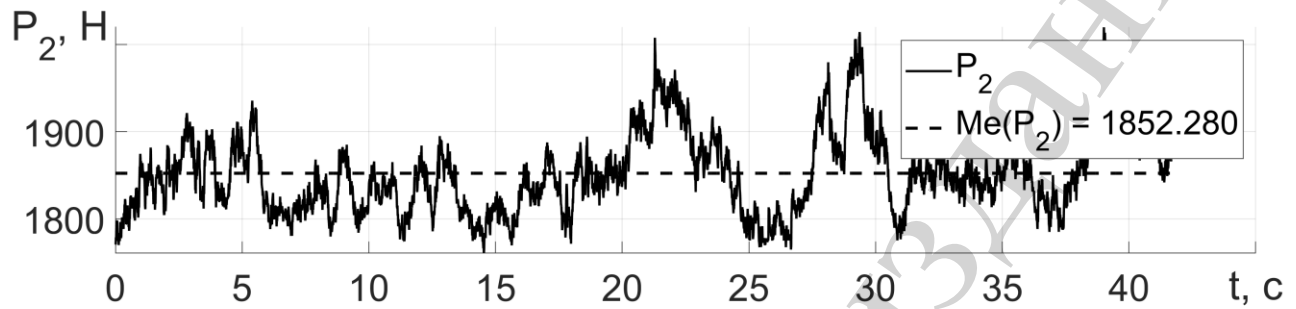
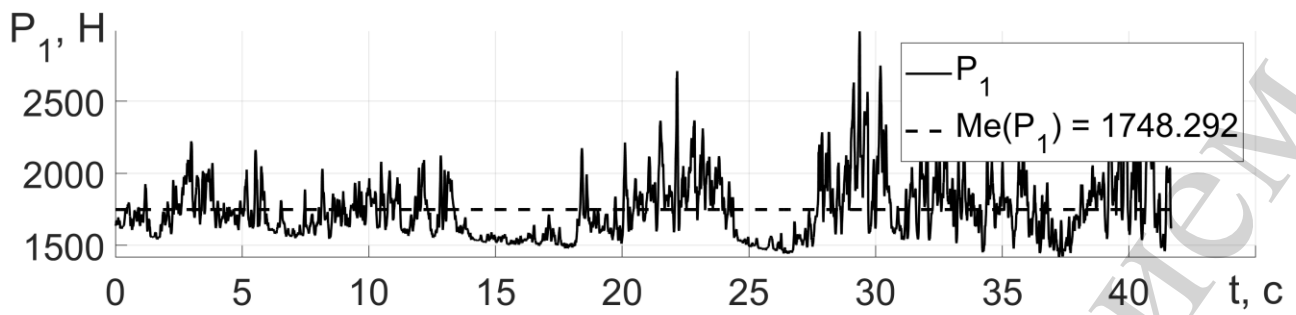
Рис. 16 Діаграми поперечної сили  $P_1$ , що діє на польову дошку, встановлену на стійці другого корпусу плуга при швидкості руху тракторного агрегату:  $a - 1.5$  м/с;  $b - 2,5$  м/с;  $в - 3,0$  м/с та тягових зусиль кожної тяги навіски трактора  $P_2, P_3, і P_4$

Схема розташування датчиків на машинно-тракторному агрегаті при проведенні експериментальних досліджень польової дошки, яка встановлена на стійці першого корпусу плуга, приведена на рис. 17.

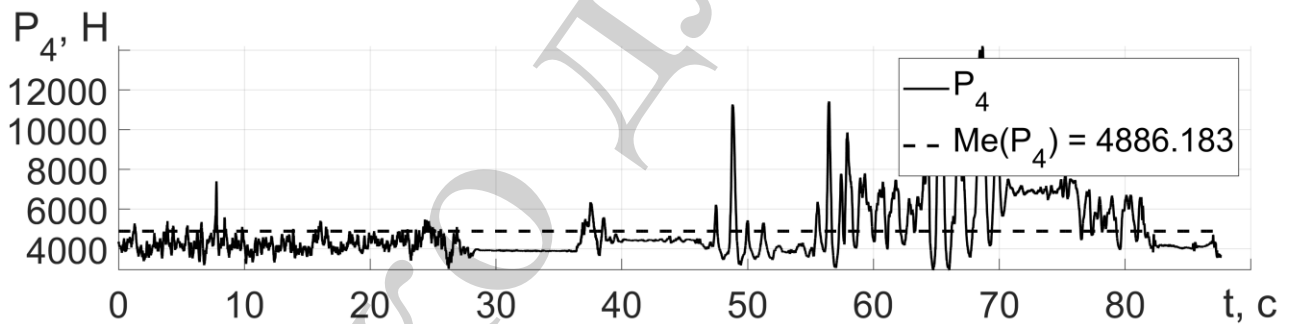
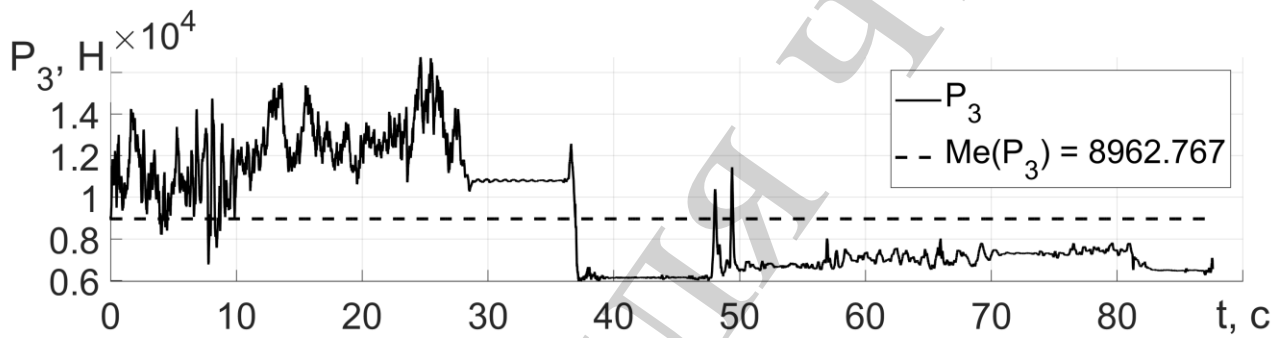
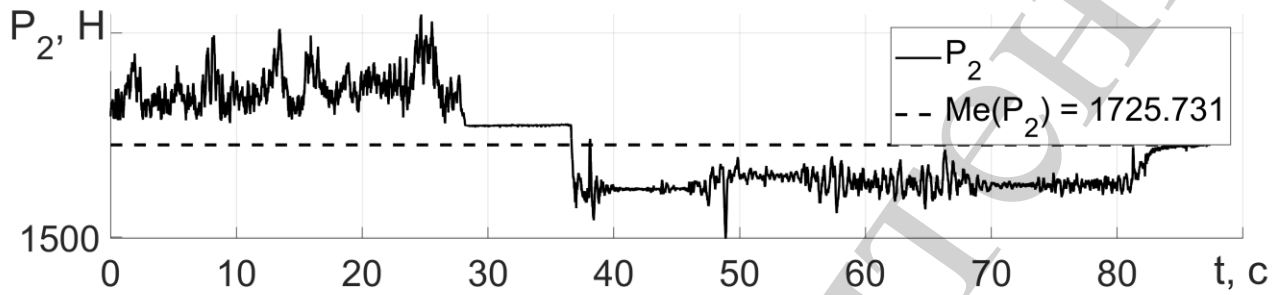
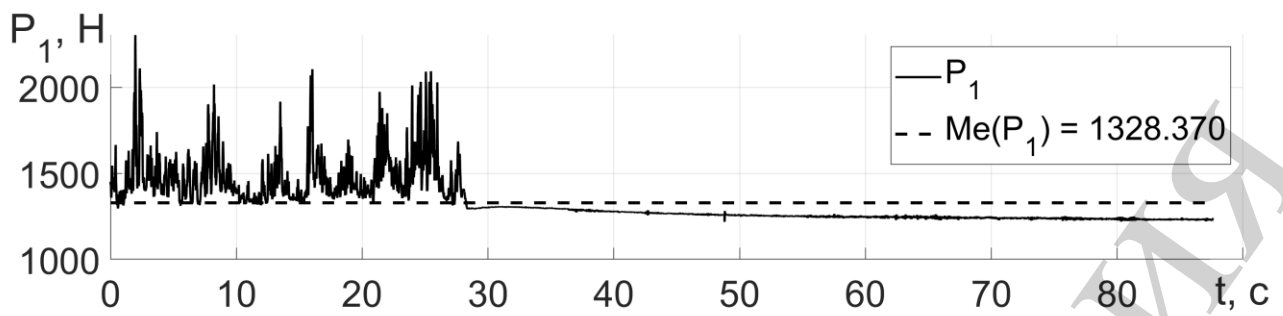


Рис. 17. Загальний вигляд тракторного агрегату з начіпним лемішним плугом ПЛН-3-35 та польової дошки з тензорезистором, встановленого на стійці першого корпусу плуга

На рис. 18 приведено загальний вигляд діаграм поперечної сили  $P_1$ , що діє на польову дошку, встановлену на стійці першого корпусу плуга. Діаграми тягових зусиль кожної навіски трактора  $P_2$ ,  $P_3$ , і  $P_4$ , при швидкості руху тракторного агрегату 1,5 м/с; 2,5 м/с; 3,0 м/с.



*a*



б

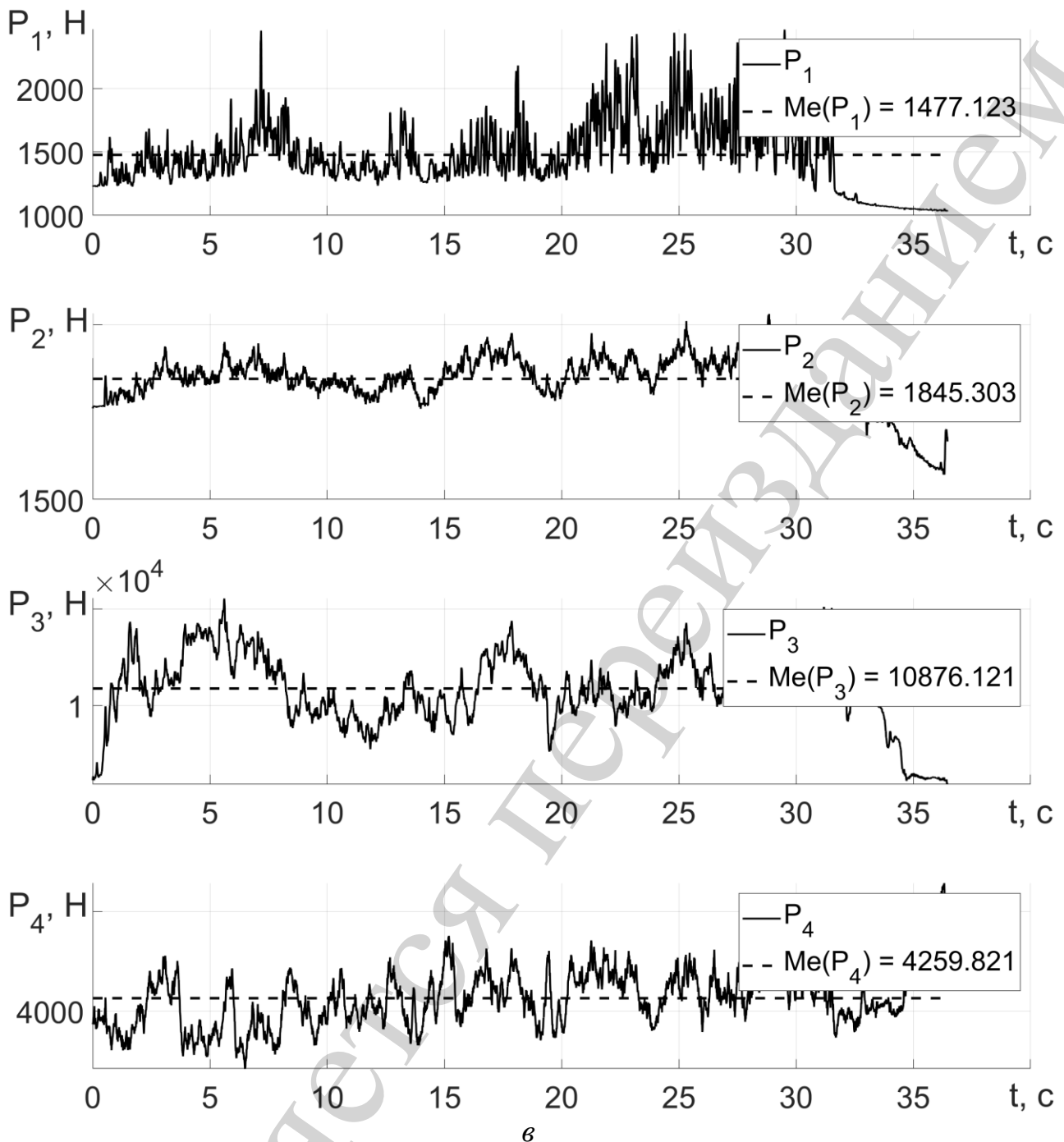


Рис. 18. Діаграми поперечної сили  $P_1$ , що діє на польову дошку, встановлену на стійці першого корпусу плуга при швидкості руху тракторного агрегату:  $a - 1.5$  м/с;  $b - 2,5$  м/с;  $в - 3,0$  м/с та тягових зусиль кожної тяги навіски трактора  $P_2, P_3, і P_4$

### 5. Обговорення результатів експериментальних досліджень

Проведені експериментальні дослідження дозволили визначити поперечні сили  $P_1$ , які створює полиця при обертанні скиби ґрунту, що діють на польові дошки, встановлені на стійках корпусів плуга ПЛН-3-35. Встановлено, що в залежності від розташування стійки плуга на діагональному брусі поперечні

сили  $P_1$ , що діють на польові дошки, мають різні значення і суттєво відрізняються одна від одної. Тягове зусилля кожної тяги навіски трактора  $P_2$ ,  $P_3$  і  $P_4$  дозволило визначити, яка із тяг навіски трактора найбільш навантажена, а яка несе мінімальне навантаження. Вибрані швидкості руху тракторного агрегату дозволили визначити залежності величин зміни показників.

Встановлено, що поперечна сила тиску  $P_1$ , яка діє на кожен польову дошку начіпного лемішного плуга ПЛН-3-35, суттєво відрізняється по величині одна від одної в залежності від швидкості руху тракторного агрегату. На величину поперечної сила тиску  $P_1$  також впливає і послідовність розташування стійки плуга на діагональному брусі.

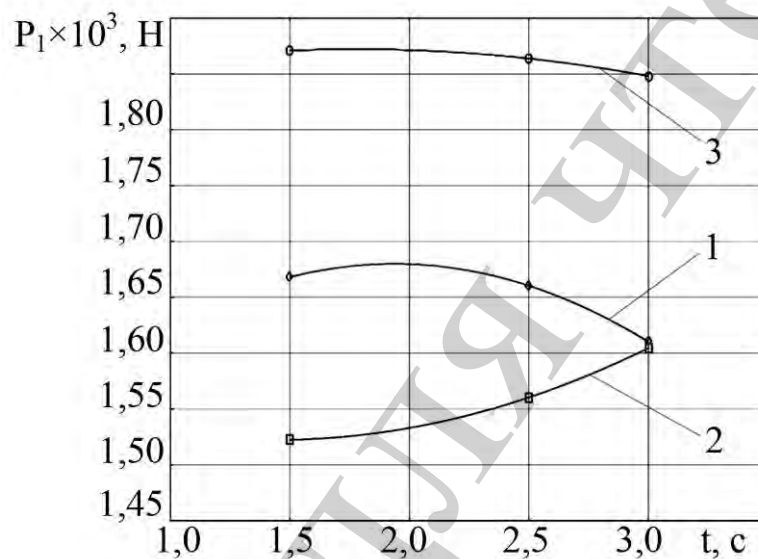


Рис. 19. Середні значення поперечної сили тиску  $P_1$ , що діє на польові дошки, встановлені на стійках корпусів начіпного лемішного плуга ПЛН-3-35 в залежності від швидкості руху машинно-тракторного агрегату:  
 1 – польова дошка встановлена на стійці першого корпусу плуга;  
 2 – польова дошка встановлена на стійці середнього корпусу плуга;  
 3 – польова дошка встановлена на стійці третього корпусу плуга

Із графічної залежності (рис. 19, позиція 3) видно, що на третю польову дошку діє середня поперечна сила тиску  $P_1$  від 1848–1871 Н. Відбувається незначне зменшення цієї сили із збільшенням швидкості руху тракторного агрегату.

Але із цим, як показують рис. 14, 16, 18, відбувається інтенсивний удар поверхні польової дошки по стінці борозни з піковими навантаженнями поперечної сили тиску  $P_1$ , яка досягає більше 2100 Н. Це пояснюється тим, що третій корпус плуга кріпиться до діагонального бруса плуга і знаходиться на відстані, більшій ніж 2 м від осі кріплення до тракторного агрегату. Тракторний агрегат при проведенні дослідження не рухається прямолінійно, а інтенсивно відхиляється вправо і вліво від осі напрямку оранки, відбувається його



інтенсивне провертання, що призводить до високочастотного удару польової дошки по стінці борозни. Це сприяє збільшенню зносу поверхні польової дошки. Також із графічної залежності видно, що із збільшенням поступальної швидкості тракторного агрегату поперечна сила тиску  $P_1$  зменшується на незначну величину.

На другу польову дошку (рис. 19, позиція 2) діє поперечна сила тиску  $P_1$ , яка знаходиться в межах 1522–1604 Н. Як показують діаграми  $P_1$ , польова дошка притискається до стінки борозни і провертається по часовій і проти часової стрілки в напрямку руху спільно з тракторним агрегатом. Це призводить до зносу поверхні польової дошки. Максимальне значення сили тиску  $P_1$  досягає більше 1900 Н. Із графічної залежності видно, що із збільшенням поступальної швидкості тракторного агрегату поперечна сила тиску  $P_1$  поступово збільшується.

Відповідно на польову дошку, яка встановлена на стійці першого корпусу плуга (рис. 19, позиція 1), діє середня поперечна сила тиску  $P_1$ , яка спочатку має більше значення. Із збільшенням швидкості тракторного агрегату сила тиску  $P_1$  зменшується і знаходиться в межах 1610–1668 Н.

Так як начіпний лемішний плуг ПЛН-3-35 жорстко кріпиться до навіски трактора, то перший його корпус копіює поступальний рух трактора. Відбувається інтенсивний удар поверхні польової дошки по стінці борозни, максимальна поперечна сила тиску  $P_1$  досягає більше 2400 Н, що призводить до збільшення зносу поверхні польової дошки.

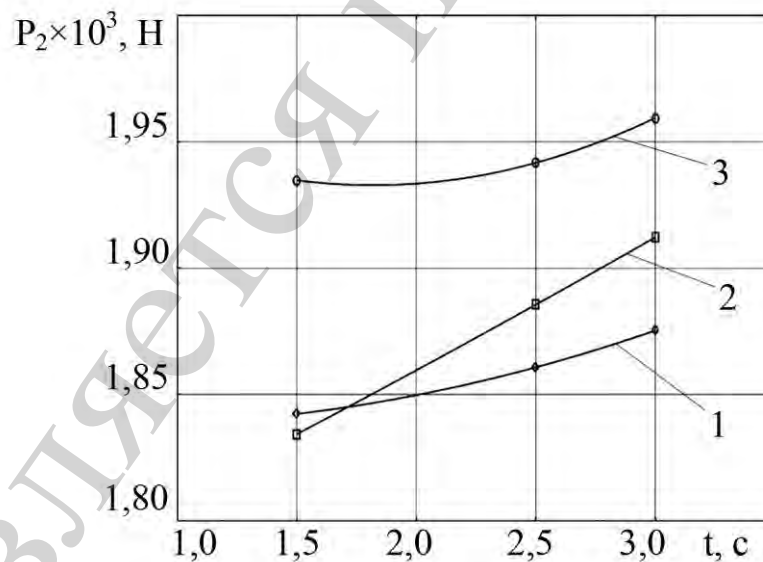


Рис. 20. Середні значення тягового зусилля  $P_2$ , що діють на середню тягу навіски трактора начіпного лемішного плуга ПЛН-3-35 в залежності від швидкості руху машинно-тракторного агрегату: 1 – польова дошка встановлена на стійці першого корпусу плуга; 2 – польова дошка встановлена на стійці середнього корпусу плуга; 3 – польова дошка встановлена на стійці третього корпусу плуга

На рис. 20 приведена залежність тягового зусилля  $P_2$ , що діє на середню тягу навіски трактора. Було встановлено, що середнє його значення  $P_2$  знаходиться в межах 1842–1959 Н, а максимально досягає 2200 Н. Тому не можна цим значенням нехтувати, необхідно враховувати при проведенні досліджень тягових зусиль начіпного лемішного плуга ПЛН-3-35.

Як видно із рис. 21, середні значення тягових зусиль  $P_3$ , що діють на праву тягу навіски трактора, становлять основне навантаження при оранці. Було встановлено, що основне тягове зусилля припадає на праву тягу механізму навіски трактора і середнє значення становить 10264–14037 Н, а максимальнє значення тягових зусиль  $P_3$  набуває 18570 Н. При цьому при збільшенні поступальної швидкості тракторного агрегату тягове зусилля зростає на правій тязі механізму навіски трактора.

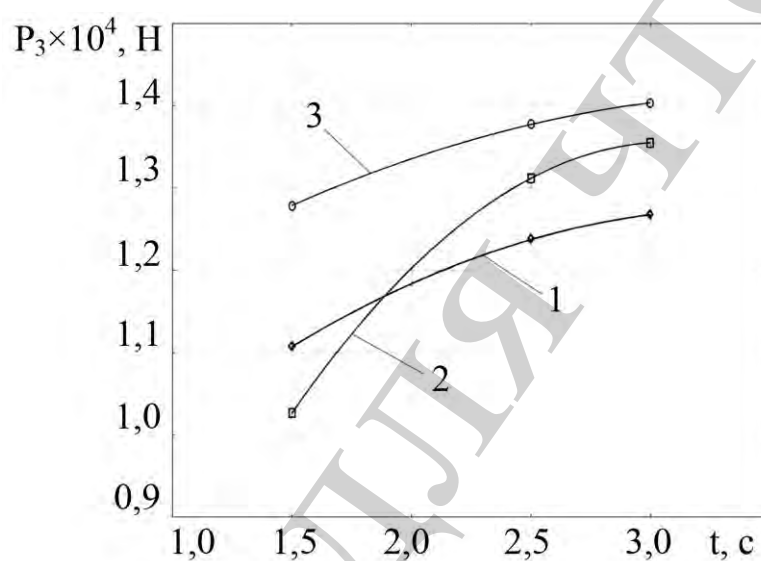


Рис. 21. Середні значення тягових зусиль  $P_3$ , що діють на ліву тягу навіски трактора начіпного лемішного плуга ПЛН-3-35 в залежності від швидкості руху машинно-тракторного агрегату: 1 – польова дошка встановлена на стійці першого корпусу плуга; 2 – польова дошка встановлена на стійці середнього корпусу плуга; 3 – польова дошка встановлена на стійці третього корпусу плуга

При проведенні експериментальних польових досліджень начіпного лемішного плуга ПЛН-3-35 по визначенню тягових зусиль  $P_4$  лівої тяги механізму навіски трактора (рис. 22) було встановлено, що ліва тяга навіски трактора практично не навантажена. Середнє значення її становить 4097–4342 Н, а максимально досягає до 6700 Н. Можна зробити висновок, що ліва тяга навіски трактора практично не навантажена.

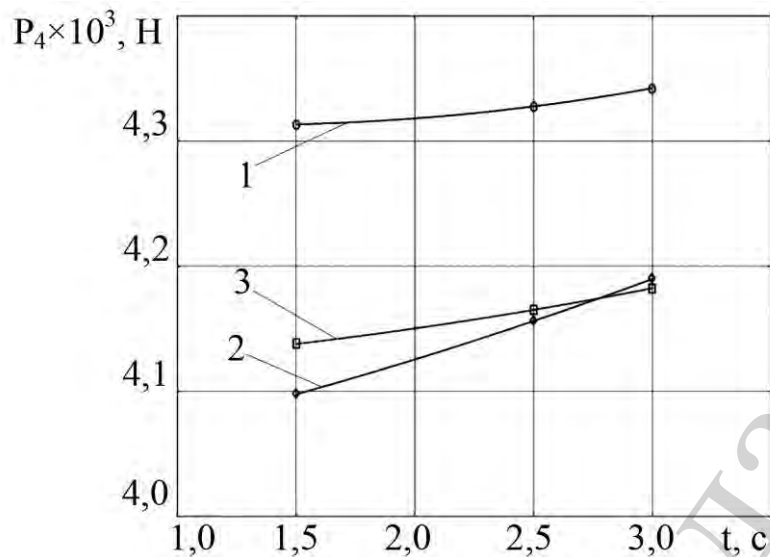


Рис. 22. Середні значення тягових зусиль  $P_4$ , що діють на праву тягу навіски трактора начіпного лемішного плуга ПЛН-3-35 в залежності від швидкості руху машинно-тракторного агрегату: 1 – польова дошка встановлена на стійці першого корпусу плуга; 2 – польова дошка встановлена на стійці середнього корпусу плуга; 3 – польова дошка встановлена на стійці третього корпусу плуга

Пропонується застосувати замість стандартної польової дошки начіпного лемішного плуга ПЛН-3-35 плоско-округлий елемент у вигляді диску зі ступицею з горизонтальною віссю обертання [24]. Диск перетворює сили тертя ковзання в сили тертя кочення. Використання диску приводить до зниження енергоємності плуга 13–15 %.

## 6. Висновки

1. Застосована вимірювальна системи динаміки та енергетики мобільних машин, яка призначена для визначення кінематичних, динамічних, потужнісних та енергетичних характеристик мобільних машин та їх елементів при польових випробуваннях. Отримані діаграми значень поперечної сили  $P_1$  і тягових зусиль кожної тяги навіски трактора  $P_2$ ,  $P_3$  і  $P_4$  з похибкою  $\pm 2$  %.

2. Застосування стенда і зразкового динамометра типу ДПУ-50-2, повіреного в ННЦ Інституту метрології відповідно сертифікату калібрування динамометру, дозволило провести градування тензометричних датчиків. Датчики були встановлені на тягах механізму навіски трактора та польовій дошці, гістерезис для тензорезисторів склав не більше 5 %.

3. Проведені дослідження начіпного лемішного плуга ПЛН-3-35 дозволили встановити, що середні значення поперечної сили тиску  $P_1$ , яка діє на польову дошку, яка встановлена на стійці першого корпусу плуга, становить 1610–1668 Н. На стійці другого корпусу плуга – 1525–1630 Н, а на стійці третього корпусу плуга становить 1848–1870 Н. Максимальне значення сили тиску  $P_1$  досягало на першій польовій дошці 2400 Н, на другій 1900 Н і на третій 2100 Н.

4. За результатами досліджень встановили, що середні значення тягового зусилля кожної тяги механізму навіски начіпного лемішного плуга ПЛН-3-35

відрізняється по величині. Тягове зусилля  $P_2$ , яке діє на середню тягу навіски трактора, знаходиться в межах 1842–1941 Н. Тягове зусилля  $P_3$ , що діє на праву тягу навіски трактора, становить 10264–14037 Н, а зусилля  $P_4$  лівої тяги механізму навіски – 4097–4342 Н.

5. Один із резервів підвищення технологічних показників і зниження енергоємності орного агрегату – це конструктивне вдосконалення стандартної польової дошки плуга. Запропонований робочий орган виконаний як плоско-округлий елемент у вигляді диску з горизонтальною віссю обертання, встановлений у вертикальній площині в напрямку руху тракторного агрегату. Диск переводить сили тертя ковзання в сили тертя кочення. Використання диску приводить до зниження енергоємності плуга 13–15 %.

### Література

1. Новиков В. С. Обеспечение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин: монография. М.: ИНФРА-М, 2019. 155 с.
2. Ярошевский В. А. Теоретические и экспериментальные исследования В. П. Горячкина в традициях российской школы механики // Вестник ФГОУ ВО МГАУ. 2008. № 1. С. 10–12.
3. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Т. 1: Ч. 1. Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. Харків: Око, 2001. 444 с.
4. Сільськогосподарські машини: навч. посіб. / Войтюк Д. Г., Аніскевич Л. В., Волянський М. С., Мартишко В. М., Гуменюк Ю. О. Київ: «Агроосвіта», 2017. 180 с.
5. Белоусов С. В. Лемешный плуг с дополнительными дисковыми рабочими органами // Научный журнал КубГАУ. 2016. № 115 (01).
6. Корпус плуга: Пат. № 118637 UA. № a201802704; заявл. 16.03.2018; опубл. 11.02.2019, Бюл. № 3.
7. Плуг начіпний: Пат. № 116401 UA. № a201604514; заявл. 22.04.2016; опубл. 12.03.2018, Бюл. № 5.
8. Дзюба О. А. Стан питання і шляхи вдосконалення лемішних начіпних плугів // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. 2018. № 11. С. 226–232.
9. Орний агрегат: Пат. № 118326 UA. № a201712429; заявл. 14.12.2017; опубл. 26.12.2018, Бюл. № 24.
10. Корпус плуга: Пат. № 115184 UA / Дзюба О. А., Фесенко Г. В., Дзюба А. І., Мерінець Н. А. № a201600130; заявл. 04.01.2016; опубл. 25.09.2017, Бюл. № 18.
11. Корпус плуга: Пат. № 114973 UA / Дзюба А. І., Фесенко Г. В., Дзюба О. А., Мерінець Н. А. № a201512879; заявл. 25.12.2015; опубл. 28.08.2017, Бюл. № 16.
12. Корпус плуга: Пат. № 116278 UA. № a201604515; заявл. 22.04.2016; опубл. 26.02.2018, Бюл. № 4.
13. Корпус плуга: Пат. № 117207 UA. № a201708562; заявл. 21.08.2017; опубл. 25.06.2018, Бюл. № 12.

14. Теоретическое обоснование параметров цилиндрической полевой доски плуга / Трубилин Е. И., Коновалов В. И., Коновалов С. И., Белоусов С. В., Мовчан Е. С. // Научный журнал КубГАУ. 2018. № 136 (02). doi: <https://doi.org/10.21515/1990-4665-136-005>
15. Тягово-приводные комбинированные почвообрабатывающие машины: теория, расчет, результаты испытания: монография / Ветохин В. И. и др. К.: Феникс, 2009. 265 с.
16. Козаченко О. В. Проблеми ресурсозбереження сільськогосподарських агрегатів: монографія / ред. О. В. Блезнюк. Харків: ХНТУСГ «Торнадо», 2008. 269 с.
17. Celik A., Boydas M. G., Altikat S. A Comparison of an experimental plow with a moldboard and a Disk Plow on the Soil Physical Properties // Applied Engineering in Agriculture. 2011. Vol. 27, Issue 2. P. 185–192. doi: <https://doi.org/10.13031/2013.36485>
18. Analysis of tractive resistance of general plow body elements / Lobachevskiy Ya. P., Komogortsev V. F., Starovoytov S. I., Khramovskikh K. A. // Agricultural machinery and technology. 2016. Issue 2. P. 11–15.
19. Lobachevskiy Ya. P., Starovoytov S. I., Chemisov N. N. Power and technological evaluation of soil cultivating working tool // Agricultural machinery and technology. 2015. Issue 5. P. 10–13.
20. Sahu R. K., Raheman H. Draught Prediction of Agricultural Implements using Reference Tillage Tools in Sandy Clay Loam Soil // Biosystems Engineering. 2006. Vol. 94, Issue 2. P. 275–284. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.01.015>
21. Design and Development of A Three-Point Auto Hitch Dynamometer for An Agricultural Tractor / Kheiralla A. F., Yahya A., Zohadie M., Ishak W. // ASEAN Journal on Science and Technology for Development. 2017. Vol. 20, Issue 3&4. P. 271. doi: <https://doi.org/10.29037/ajstd.355>
22. Антощенко Р. В. Динаміка та енергетика руху багатоеlementних машинно-тракторних агрегатів: монографія. Харків: ХНТУСГ, «Міськдрук», 2017. 244 с.
23. Антощенко Р. В. Измерительная система динамических и энергетических параметров тракторов и машинно-тракторных агрегатов // Международный научный, научно приложный и информационный журнал «Механизация на земеделието». 2015. № 12. С. 9–11.
24. Корпус плуга: Пат. № 131846 UA. № a201802549; заявл. 14.03.2018; опубл. 11.02.2019, Бюл. № 3.