

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерно-технологічний**

**Кафедра агроінжинірингу**

**До захисту**  
**Допускається**  
**Завідувач кафедри**

**Шуляк М.Л.**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Дослідження впливу системи контролю притискового зусилля висівних секцій посівної машини на показники якості посіву соняшнику.»

Виконав:

\_\_\_\_\_

(підпис)

Кость М. С.

(Прізвище, ініціали)

Група:

СТЗ 2301-1м ВН

(Науковий) керівник:

\_\_\_\_\_

(підпис)

Лебедєв А.Т.

(Прізвище, ініціали)

Суми – 2024

## РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційна робота представлена на 40 сторінках машинописного тексту пояснювальної записки, що містить 7 таблиць, 13 рисунків, додатків 2, 25 літературних джерел.

Ключові слова: ТОЧНІСТЬ ВИСІВУ, ПРИТИСКНЕ ЗУСИЛЛЯ, НАВАНТАЖЕННЯ НА КОЛЕСО, КЕРУЮЧА СЕКЦІЯ, КОНТРОЛЬ НОРМИ.

Мета роботи - оцінити роботу системи контролю притискної сили секції сівалки за при роботі з різними параметрами та в різних умовах при посіві соняшнику.

Щоб вирішити цю проблему, для посіву трьох полів була використана 12-рядна сівалка, оснащена гідравлічним керуванням притискною силою. Сівалка була налаштована на висів соняшнику на глибину 5,2 см і 5,7 см із фіксованою цільовою НК, встановленою на рівні  $35 \pm 23$  кг (12-57 кг), і НКР, встановленою від 0 до 90 кг.

Отримані результати свідчать про необхідність автоматичної системи притискної сили з меншою кількістю висівних секцій на «контрольну секцію» для підтримки цільового НК у прийнятному діапазоні для всіх висівних агрегатів. Регресійний аналіз показує, що текстура ґрунту є важливою змінною, яка може впливати на НК у реальному часі. Крім того, ущільнений ґрунт через тракторні шини сприяв значному зниженню НК. Наші дані свідчать про необхідність активного контролю притискної сили для досягнення покращеної рівномірності НК за різних умов експлуатації.

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Огляд досліджень та публікацій .....	7
2 Методика досліджень .....	13
2.1 Обладнання посівної машини .....	13
2.2 Налаштування сівалки та план експерименту .....	15
2.3 Електропровідність ґрунту .....	21
3 Аналіз даних польових досліджень .....	23
3.1 Перевірка фіксованої притискної сили сівалки.....	23
3.2 Розподіл притискної сили (НК).....	24
3.3 Розподіл притискної сили.....	27
3.4 Сценарії керування НК посекційно.....	28
3.5 Вплив типу ґрунту на середнє НК.....	29
3.6 Ущільнення від шин і НК.....	32
Висновки.....	35
Список використаних джерел.....	37

## ВСТУП

Технологічною операцією, яка має значущий вплив на якість обробітку, є висів дозованої маси. Технологічний процес висіву характеризується складним конструктивним супроводом, при цьому, він має найбільш вагомий вплив на врожайність вирощуваних сільськогосподарських культур. Глибоке дослідження і оптимізація процесу роботи посівного агрегату, а також елементів, що входять в його систему, дозволяє виявити існуючі недоліки в технологічному процесі, а також в конструкції посівного агрегату, що відкриває шляхи до вдосконалення всієї посівної системи.

Висіваючий апарат - це один з елементів сівалки, що відповідає за рівномірне дозування висіваного матеріалу і подальшу його подачу до сошникових груп. Обґрунтований вибір оптимальних технологічно - конструктивних параметрів і режимів роботи висівного апарату залежить від фізико - механічних і технологічних властивостей оброблюваного сільськогосподарського матеріалу. Для посіву пропашних культур, таких як соняшник та кукурудза висіваючі апарати застосовуються в різних технологічних і конструктивних виконаннях, характеризуються рядом позитивних аспектів і деяких недоліків. В даний час питанням якісного виконання технологічного процесу висіву пропашних культур приділяється багато уваги. Незважаючи на те, що дослідженням висівних апаратів займаються багато вітчизняних і зарубіжних вчених, дане питання розкрито недостатньо повно.

## 1 ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Контроль притискної сили сівалки дозволяє висівним агрегатам підтримувати цільове навантаження на опорне колесо (НК) у діапазоні опору ґрунту в межах поля. Управління притискною силою зазвичай встановлюється для цільової глибини посіву і може бути реалізовано як фіксоване, так і за допомогою автоматичного чи активного керування для досягнення бажаного НК. Останні досягнення дозволяють контролювати окремі висівні секції для покращеного застосування НК.

Сівалка просапних культур повинна розміщувати все насіння майже на однаковій глибині та з однаковою відстанню вздовж рядків. Щоб досягти цього, диски використовують вагу висівного агрегату для проникнення в ґрунт, утворюючи посівну борозну потрібної глибини. Опорні колеса контролюють глибину борозни, оскільки вони запобігають заглибленню дисків.

Надмірна вага, що діє на опорне колесо висівної секції, коли воно спирається на поверхню ґрунту, називається навантаженням колеса (НК). Через різний опір ґрунту на відкриваючих дисках по полю вага висівного агрегату може бути недостатньою, що може призвести до втрати контакту коліс із землею, що призведе до невеликої глибини посіву.

Виробники оснастили просапні сівалки механізмом для застосування додаткового навантаження на кожну рядкову одиницю для отримання борозни з бажаною глибиною посіву та здатністю постійно підтримувати цю глибину в усьому полі з різним ущільненням ґрунту, типом ґрунту та рештками. Це додаткове навантаження разом із власною вагою висівного агрегату називається притискною силою висівного агрегату. Притискну силу можна застосовувати за допомогою трьох систем: механічної, пневматичної та гідравлічної.

Гідравлічна система забезпечує швидший час реакції на зміну вимог притискної сили висівного агрегату порівняно з пневматичними системами. Ця система використовує гідравлічні циліндри для застосування додаткової притискної сили до висівних секцій, якщо необхідно. Перед посівом вибирається цільове навантаження на колесо, яке вважається достатнім для сівалки, щоб підтримувати бажану глибину посіву. Система підтримуватиме це значення для досягнення бажаного проникнення в ґрунт і сталої глибини посіву без ущільнення ґрунту. Датчик на колесі забезпечує зворотний зв'язок щодо навантаження на нього, що визначає, чи потрібно регулювати притискну силу. Ця система є перевагою, особливо на полях із різними умовами (обробіток ґрунту, текстура ґрунту, рельєф, рештки тощо), де потрібен миттєвий час реагування на умови поля, що постійно змінюються.

Однак існує мало знань про просторову мінливість НК, мінливість НК від ряду до ряду та про рекомендовані вимоги до контролю НК на сівалках, що працюють у фактичних польових умовах. Таким чином, завдання цього дослідження полягали в тому, щоб: 1) кількісно визначити мінливість НК в режимі реального часу між окремими секціями в межах 12-рядної сівалки, запрограмованої для впровадження постійного контролю притискної сили під час роботи в полі; 2) оцінити діапазон навантаження на колесо (НК) для окремої висівної секції та в межах 2-, 3- або 4-рядних секцій керування, щоб визначити оптимальний розмір секції керування притискною силою; 3) оцінити вплив структури ґрунту та ущільнення ґрунту через сліди шин на мінливість НК.

Стабільність глибини посіву та врожайності на початку вегетаційного сезону, такі як швидкість появи сходів і густина рослин, є ключовими параметрами, що визначають ефективність посіву сівалок і кінцеву врожайність соняшнику.

Нерівномірну появу сходів можна пояснити нерівномірною глибиною посіву та різними польовими умовами, такими як розподіл поживних залишків у системах без обробітку ґрунту, умови посівного ложа та енергія насіння. Дослідження показали важливість посіву на оптимальну глибину, коли посадка понад порогову глибину може призвести до нерівномірного сходу рослин. Показали, що глибина посіву була одним із головних факторів, що лежать в основі появи та вегетативного розвитку соняшнику. Досягнення бажаного кінцевого стану є важливим для отримання оптимальної врожайності. Глибока посадка може призвести до зниження сходів і поганого розвитку культури, що призведе до зниження врожайності на 6-22% .

Подібним чином мілка посадка може спричинити поганий ріст коренів або повну відсутність проростання. Системи посівних машин використовують притискну силу, щоб забезпечити необхідне навантаження на секцію для належної роботи ключових компонентів сівалки. Притискна сила – це загальна величина навантаження, яку несе висівна частина, яка складається з ваги висівної секції та зовнішнього прикладеного навантаження або сил.

Під час посіву притискна сила розподіляється між чотирма ключовими компонентами сівалки: відкриваючими дисками, направляючими колесами, закриваючими колесами та очисниками рядів або сошниками. Замикаючі колеса та очищувачі рядків поглинають відносно невелику частину притискної сили, і ця величина залишається відносно постійною. Більша частина притискної сили розподіляється між відкриваючими дисками, що вимагає певного навантаження, щоб створити борозну на бажану глибину для посіву, і направляючими колесами для підтримки глибини посіву.

Під час посівних робіт вимоги до навантаження на відкриваючий диск суттєво змінюватимуться через зміну фактичних польових умов, таких як зміна текстури ґрунту, вологості, поверхневих залишків, рельєфу, швидкості руху, ущільнення ґрунту від руху сільськогосподарської техніки та конструкції

дисків для відкриття борозни. Наприклад, із застосуванням фіксованої притискної сили посів на легкому текстурованому ґрунті потребує меншого навантаження на відкриваючі диски для створення борозни на потрібну глибину, і більше навантаження буде нести коліщатко. Навантаження на вимірювальне колесо називається навантаженням на направляюче колесо (НК) і підтримує контакт колеса із землею, забезпечуючи підтримку бажаної глибини під час посіву.

З іншого боку, створення борозни на більш важкому текстурованому ґрунті вимагає більшого навантаження на диски для розкриття ґрунту, що зменшує величину НК. У якийсь момент відкриваючі диски можуть вимагати додаткового навантаження, ніж доступне НК, і ця ситуація може спричинити втрату контакту опорного колеса з землею, що може призвести до мілкового посіву.

Рішення полягає в тому, щоб збільшити кількість додаткового навантаження, що прикладається до висівної секції або іноді називається «запасом» для відкриваючого диска, щоб досягти бажаної глибини та міцно тримати коліщатко на землі.

Однак застосування занадто великого навантаження може спричинити більшу глибину посіву, а також ущільнення бічних стінок, що може призвести до поганого розвитку коренів. Тому важливо вибрати відповідний рівень НК, який дозволить дискам мати додаткове навантаження, яке вони можуть використовувати в будь-якій пропорції без шкоди для глибини посіву насіння та не викликаючи ущільнення бічних стінок.

Здатність ґрунту проводити електричний струм вимірюється його електропровідністю (ЕП) і зазвичай повідомляється в мілісіменс на метр (мСм/м). Електричний струм може проходити через ґрунт через 1) ґрунтовий розчин води та іонів у мережі пор, 2) катіони, прикріплені до поверхні частинок глини, і 3) частинки ґрунту, з'єднані одна з одною. Дослідження показали, що

на більшості полів вищі значення ЕП пов'язані з вищим вмістом глини та органічної речовини, ніж у зонах з нижчим, таким чином, електропровідність має сильну кореляцію з розміром часток ґрунту та текстурою, а також із засоленням. Таким чином, просторові дані ЕП ґрунту можуть бути використані для диференціації текстури ґрунту в межах поля.

Ґрунт із вищою ЕП ґрунту вимагав би більшої сили, прикладеної дисками для відкривання, щоб відкрити насінневу борозну, що зменшило б навантаження (або силу) на колеса і навпаки. Знайти оптимальну притискну силу може бути складно, оскільки умови посіву відрізняються у полі.

Через мінливість полів і ґрунтів висівні агрегати можуть навіть вимагати окремого контролю один від одного, щоб досягти рівномірної глибини посіву. Загалом, керування притискною силою на сівалці може здійснюватися або окремою висівною секцією, або секціями керування, що складаються з кількох висівних секцій за допомогою пружин натягу, подушок безпеки або гідравлічних циліндрів. Як правило, контактний тиск коліс із ґрунтом збільшується за рахунок збільшення натягу пружини через паралельні з'єднання, які кріплять рядкові блоки сівалки до рами інструменту.

Нові сівалки використовують гідравлічний циліндр або пневматичні приводи для регулювання передачі ваги на висівні агрегати для належного контакту коліс із ґрунтом. Правильні механізми керування притискною силою сівалки відіграють важливу роль у запобіганні ущільненню ґрунту та досягненні рівномірної глибини посіву. Попередні дослідження показали, що вимоги до тяги для відкриваючих дисків були вищими для важких порівняно з легкими ґрунтами.

Різні польові умови вимагають оптимального управління притискною силою для досягнення рівномірної глибини посіву. Однак обмежені опубліковані рекомендації щодо ефективного використання комерційно доступних технологій та обладнання для роботи з просторовою мінливістю НК

заважають виробникам визначити відповідну систему управління мінливістю НК у типовому полі під час посівних робіт.

Тому це дослідження було розроблено з метою: 1 ) кількісно оцінити мінливість НК в режимі реального часу між окремими висівними агрегатами в межах 12-рядної сівалки, запрограмованої для впровадження постійного контролю притискної сили під час роботи в полі; 2) оцінити діапазон навантаження на колесо (НК) для окремих рядків і в межах 2-, 3- або 4-рядних контрольних секцій, щоб визначити оптимальний розмір контрольної секції для притискної сили; 3) оцінити вплив текстури ґрунту та ущільнення ґрунту внаслідок змінності через гусениці та шини.

## 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Обладнання посівної машини

Полеві випробування проводилися з використанням 12-рядної просапної сівалки Horsch Maestro 12 30 SW з змінна норма висіву та технологія автоматичного контролю секцій. Сівалка була запрограмована на реалізацію автоматичного контролю секцій для випадання насіння шляхом увімкнення або вимкнення двигунів окремих рядків (BG 45x15 SI, Dunkermotoren GmbH, Шварцвальд, Німеччина) на основі карти покриття. Сівалка працювала на тракторі John Deere 8270R. Функціональність керування сівалкою була виконана за допомогою польового комп'ютера 2630 John Deere (GreenStar – 3, Deere and Company, Молін, штат Іллінойс, США), підключеного до блоку електричного керування сівалки, надалі – ЕПУ (Horsch, Швандорф, Німеччина) через ISOBUS. Рядки розташовувалися на відстані 70 см. Сівалки були розділені на чотири контрольні секції (рис. 1).



Рис. 1 - Робочі органи сівалки, що містить 12 рядків (висівних секцій), пронумерованих від 1 до 12 зліва направо, разом із секцією гідравлічного керування притисною силою

Кожна висівна секція була оснащена датчиком навантаження на колесо, а всі секції були налаштовані на постійний гідравлічний тиск для рівномірного застосування притискної сили.

Контрольні секції 1 і 4 склалися з трьох рядків кожна з лівого і правого боку планки сівалки. Контрольна ділянка 2 включала чотири секції, що примикали до колії трактора (ряди 4, 5, 8, 9). Секція керування 3 включала два рядки (рядки 6 і 7) у центрі панелі машини.

Висівні секції в контрольних секціях 1, 3 і 4 не йшли по колії шин насіння та шин трактора, і їх ми називатимемо в подальшому висівними секціями на колії «без слідів». Робочі органи в секції керування 2 слідували за шинами трактора та самої сівалки, і вони називаються в подальшому висівними секціями на колії шин. Гідравлічний датчик тиску (*HDA 844L – A – 0250 – 161, Hydac, Glendale Heights, IL, США*) був встановлений для вимірювання тиску для кожної контрольної секції. Щоб зберегти відстань між насінням під час зміни швидкості сівалки, ECU використовував зворотний зв'язок із радаром швидкості руху (*Radar III, Dickey – John Corp., Auburn, IL, U.S.A.*), який було встановлено до кожного модуля керування двигуном висівного апарату (*Horsch Maschinen GmbH, Schwandorf, Німеччина*) для генерації цільових обертів двигуна на основі кількості насіння за допомогою планетарного редуктора (*PLG 42S, Dunkermotoren GmbH, Шварцвальд, Німеччина*).

Датчик насіннепроводу на кожній трубці (*Hu Rate Plus, Dickey – John Corp., Auburn, IL, U.S.A.*) надавав польовому комп'ютеру зворотний зв'язок щодо розподілу насіння, двійників і пропусків.

## 2.2 Налаштування сівалки та план експерименту

Польові випробування були проведені за допомогою сівалки, обладнаної гідравлічним керуванням притискною силою. 4-секційна система керування, розроблена та інтегрована виробником, була запрограмована для реалізації активного або фіксованого контролю притискної сили. Для цього дослідження система притискної сили була запрограмована на застосування фіксованої притискної сили шляхом налаштування системи на підтримку постійного гідравлічного тиску. Лабораторні випробування проводилися з використанням виготовленого на замовлення стенду для оцінки притискної сили, щоб визначити величину тиску, необхідного для досягнення певного рівня НК. Випробувальний стенд запропонував тиск 5,6 МПа для досягнення фіксованого НК в 35 кг, і це налаштування було перевірено на полі перед посівом.

Було вивчено типові рекомендації щодо налаштування сівалки від виробників і практику виробників, щоб налаштувати сівалку на бажану глибину посіву насіння в полі та для оцінки цільової фіксованої притискної сили. Експерименти з фіксованою притискною силою проводилися в трьох місцях: поле А (7 га), поле В (4 га), і поле С (11 га). Поля засіяли соняшником на дві різні глибини посіву відповідно до рекомендацій виробників.

Налаштування глибини сівалки було налаштовано на глибину посіву 5,2 см для полів А і В і 5,7 см для поля С. ECU сівалки було запрограмовано на стандартну норму висіву 62 500, 64 000 і 67 000 насінин на гектар на полях А, В і С відповідно. Посів проводився із середньою швидкістю 11,3 км/год і коливався від 7,2 км/год до 12,0 км/год. У попередніх дослідженнях під час польових випробувань використовувалися різні рівні навантаження на колесо і притискну силу, яка коливалася від 18 до 173 кг.

Для цього дослідження були проведені консультації з різними виробниками та співавторами, які рекомендували загальні налаштування

сівалки, і на основі їхніх якісних відгуків було встановлено цільову НК на рівні 35 кг. Очікувалося, що НК залишатиметься в межах від 12 до 57 кг під час польової роботи. Цей діапазон  $\pm 23$  кг було обрано на основі попереднього дослідження, яке виявило здатність систем HORSCН підтримувати цільову НК у цьому діапазоні 99% часу для майже однорідних умов поля. Дані НК окремої висівної секції були проаналізовані, щоб визначити відсоток часу, протягом якого НК був 1) у межах цільового діапазону  $35 \pm 23$  кг, 2) перевищував цільовий діапазон і 3) був менше цільового діапазону. Крім того, усі точки даних датчика навантаження, що представляють поворот сівалки з піднятою панеллю інструментів, були проаналізовані, щоб кількісно визначити реакцію без навантаження під час сівби.

Аналіз підкреслить, чи всі датчики навантаження стабільно підтримували реакцію холостого ходу, а розроблена калібрувальна крива справді відображала навантаження на колесо через польові та робочі умови. Діапазон навантаження на коліщатко (НК) представляв різницю НК між висівною секцією з найвищим і висівною секцією з найнижчим значенням у будь-якому конкретному випадку. НК кількісно визначить ступінь варіабельності НК на панелі інструментів і потенційно продемонструє потребу в контрольних секціях для точного контролю цільових НК. Більша мінливість НК від рядка до рядка вказує на потребу в секціях керування висівними агрегатами для керування високою роздільною здатністю під час динамічних польових операцій.

НК було кількісно визначено шляхом обчислення різниці для всіх 12 одиниць рядків, а також для парних комбінацій 2 сусідніх рядів, 3 сусідніх рядів і 4 суміжних рядів. 2-рядна комбінація, яка надалі називатиметься опцією керування 2-рядними секціями, була призначена для рядків 1 – 2, 3 – 4, 5 – 6, 7 – 8, 9 – 10 і 11-12; 3-рядкові комбінації, які далі згадуються як 3-рядний секційний контроль, були з висівними секціями 1 – 2 – 3, 4 – 5 – 6, 7 – 8 –

9 і 10 – 11 – 12; і 4 комбінації рядків, які надалі згадуються як опція керування 4-рядними секціями, були для рядків 1 – 2 – 3 – 4, 5 – 6 – 7 – 8 та 9 – 10 – 11 – 12.

Середній НК у кожній секції для різних сценаріїв контролю секції для кожного з трьох полів порівнювався, щоб оцінити відповідну кількість рядків для контрольної секції з найменшим НК. Контроль секції з найменшою НК вказуватиме на контроль притискної сили, необхідний для досягнення максимально рівномірної НК на всіх висівних секціях у межах контрольної секції. Середні НК і НК з усіх рядків були нанесені на карту за допомогою *ArcMap* 10.3 (ESRI, Редлендс, Каліфорнія, США).

Просторовий аналіз проводився в *ArcGIS* 10.3 (ESRI, Редлендс, Каліфорнія, США) за допомогою інструментів у *Arc Map* 10.3, щоб отримати точки даних, які підпадають під кожен клас текстури ґрунту (ЕП) для всіх полів. Кожну точку даних, отриману з кожного класу текстури ґрунту, вважали копією та використовували для розрахунку середнього НК для кожного класу ЕП ґрунту. Нарешті, середній НК для секцій без слідів шин (контрольна секція 1, 3 і 4) і секцій з слідами шин (контрольна ділянка 2) були обчислені для кожного поля.

Статистичний аналіз проводили в *SAS University Edition* 2016. Множинний регресійний аналіз між ЕП ґрунту та НК проводився за допомогою процедури `proc reg`, щоб визначити, чи є ЕП ґрунту значущою змінною, яка може впливати на НК у реальному часі. Аналіз суттєвих відмінностей між середніми НК та ЕП ґрунту; а середній НК і сліди шин або без них були виконані за допомогою змішаної процедури `proc` і оператора `lsmeans`. Ефекти вважалися статистично значущими на рівні ймовірності 0,05, якщо не вказано інше.

*Система збору даних.* Сівалки були встановлені на заводі з датчиками навантаження (модель 6784, Horsch Maschinen GmbH, Швандорф, Німеччина) на кожному з 12 рядків, щоб виміряти НК (рисунок 2).



Рис. 2 - Датчик навантаження, встановлений на кулачковому вузлі, розміщеному поперек важелів коліс

Розрахований діапазон вимірювань датчиків навантаження становив до 9806 Н з лінійним відгуком на шкалі 4-20 мА. Датчики навантаження були відкалібровані в лабораторії з використанням відомих ваг для запису сигналу датчика від сили (кг). Для перетворення сигналу датчика навантаження в режимі реального часу в силу, що представляє НК, була встановлена лінія регресії до сигналу датчика проти даних датчика сили (рис. 3). Для вимірювання прикладеного тиску гідравлічного масла на кожній з чотирьох контрольних секцій було встановлено один датчик тиску. Оскільки кожна

контрольна секція використовувала гідравлічний блок і застосовувала однаковий тиск до всіх рядків у цій контрольній секції, один датчик тиску вважався достатнім для кожної контрольної секції.

Для контрольних секцій 1, 3 і 4 використовувався датчик тиску з діапазоном вимірювання 25 МПа (*HDA 844L – A – 0250 – 161, Hydac, Glendale Heights, IL, США*) з лінійним відгуком на шкалі 4-20 мА. встановлений; тоді як секція 2 була оснащена перетворювачем з діапазоном вимірювання до 52 МПа (модель KM41, Ashcroft Inc., Стратфорд, Коннектикут, США) з лінійним відгуком за шкалою 0,5-4,5 В постійного струму. Дані про швидкість посіву та позицію збирали одночасно за допомогою GPS-пристрою з точністю до субдюйма (*GR5, Topcon Positioning Systems, Inc., Лівермор, Каліфорнія, США*).

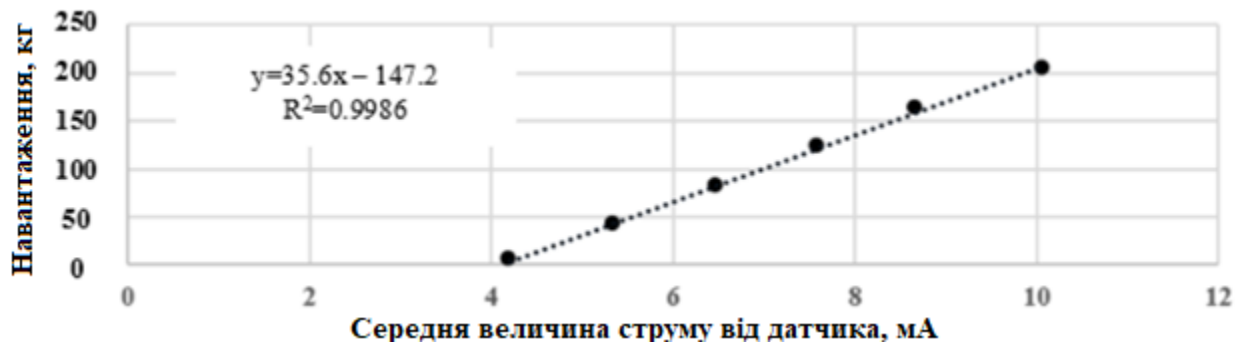


Рис. 3 - Лінія регресії, встановлена між відомими навантаженнями (НК) та струмом датчика навантаження

Сівалка оснащена гідравлічними циліндрами, які використовуються для підйому та опускання панелі інструментів сівалки (рамних конструкцій). Потенціометр (модель 424A11A090B, *Elabou sensor Technology Inc.*) з лінійною характеристикою за шкалою 4-20 мА був встановлений на осі бункера для контролю відносного положення панелі інструментів сівалки (рис. 4).

Потенціометр був спочатку відкалібрований, щоб гарантувати, що вихід буде відображати підняте та посадкове положення панелі інструментів. Висота

панелі інструментів сівалки та вихідний сигнал датчика від 4 мА до 20 мА з інтервалом 1 мА були записані для кількісного визначення положення панелі інструментів під час посіву.

Положення посіву панелі інструментів вказувало на те, що панель інструментів була в бажаному положенні для вибраної глибини посіву. Спеціальну систему збору даних було розроблено з використанням системи *National Instruments (NI) cRio*, а програму збору даних було розроблено з використанням LabVIEW для запису сигналів від 12 датчиків навантаження, 4 гідравлічних перетворювачів тиску, потенціометра та пристрою GPS на частоті 10 Гц. Необроблені дані використовувалися без маніпуляцій для статистичного аналізу. Для графіків часових рядів використовувалося середнє п'яти послідовних точок даних.

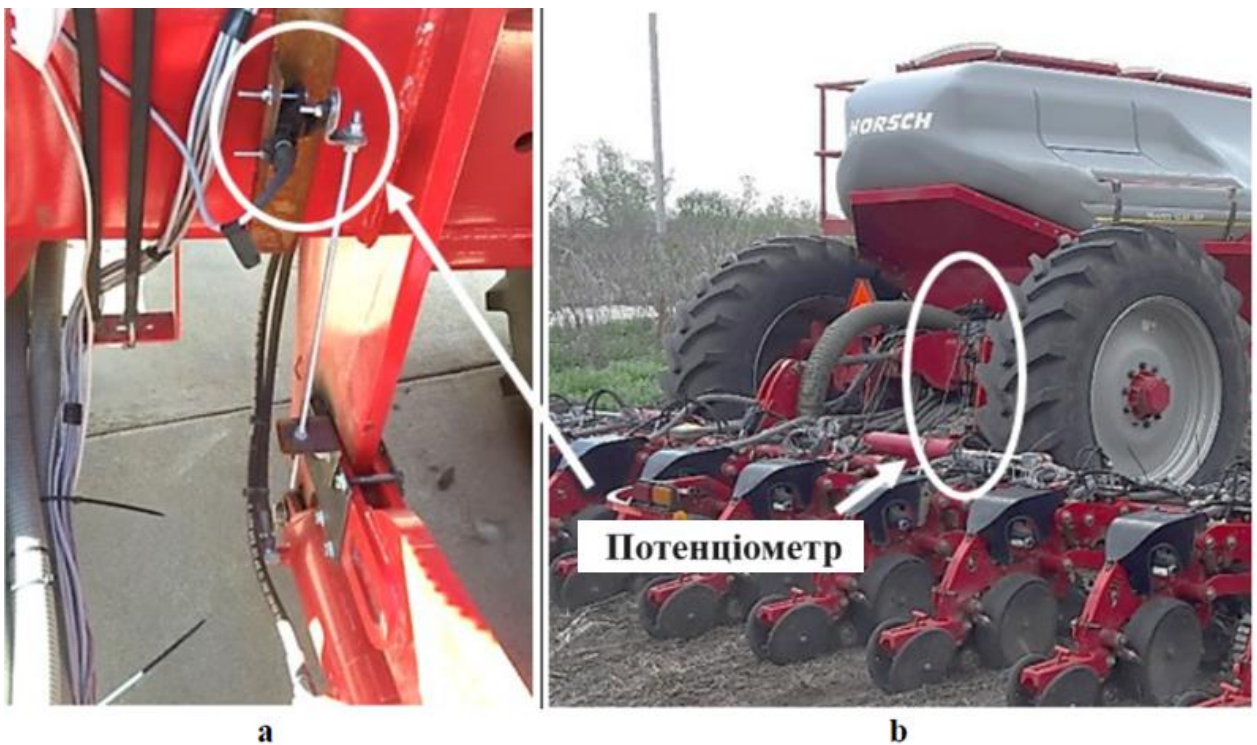


Рис. 4 - Потенціометр, встановлений на корпусі осі насінневого візка, і нижній ланці, прикріпленій до панелі інструментів сівалки (а) для контролю

положення панелі інструментів сівалки відносно корпусу осі, щоб кількісно визначити підняте або посівне положення (b) панелі інструментів

### 2.3 Електропровідність ґрунту

Електропровідність ґрунту на ходу (ЕП) вимірювали за допомогою мобільної сенсорної платформи Veris MSP, (Саліна, Канзас, США). Veris MSP був встановлений на триточкову навіску трактора Kubota M9000. *Veris EC Mapper у MSP* був запрограмований для вимірювання ЕП як на мілководних (0-0,31 м), так і на глибоких (0,0-0,91 м) зонах. *Veris SoilViewer v2.70* реєстрував точкові дані в реальному часі та дані GPS із частотою 1 Гц уздовж 18,3 м трансект.

Veris MSP класифікував дані ЕП у реальному часі за п'ятьма діапазонами: низький (8,0-19,71 мСм/м), середньо низький (19,4-25,4 мСм/м), середній (23,5-31,1 мСм/м), середньо високий (29,8-48,2 мСм/м) і високий (37,2-87,1 мСм/м). Область, що представляє нижні два, середні та верхні два діапазони ЕП, були обрані як цільові регіони для зразків ґрунту. Після збору вимірювань ЕП ґрунту було взято зразки ґрунту за допомогою пробовідбірника ґрунту Classic Soil Probe з наконечником діаметром 1,9 см (модель L, *Oakfield Apparatus, Fond du Lac, WI, USA*).

На кожному полі для лабораторного аналізу було відібрано 12 зразків ґрунту, по 4 зразки з різною ЕП. Глибина відбору проб становила 30,6 см. Зібрані зразки ґрунту були проаналізовані на електропровідність лабораторією випробувань ґрунту.

Посткалібровані дані ЕП ґрунту від Veris були використані для створення згладжених карт ЕП за допомогою ArcGIS 10.3 з використанням точкового звичайного крігінгу. Для візуалізації відмінностей ЕП згенеровані карти були розділені на три зони за допомогою методу природних розривів у ArcMap. Визначені зони ЕП ґрунту відповідають регіонам, де були відібрані

проби ґрунту, і ці зони були класифіковані як низький, середній і високий ЕП ґрунту. Було розраховано середнє НК для кожної зони ЕП ґрунту, і це було використано для визначення, чи середнє НК чітко змінюється для кожного регіону ЕП ґрунту в межах кожного поля. Попереднє дослідження показало, що ЕП ґрунту корелюється з текстурою ґрунту, тому для цього дослідження терміни ґрунт з низьким, середнім і високим ЕП відповідають ґрунту з низькою, середньою та важкою текстурою. Вологість ґрунту вимірювали за допомогою портативного цифрового датчика ґрунтової вологи Hydrosense II (Campbell Scientific, Inc., Юта, США), оснащеного 12-сантиметровим датчиком вологості ґрунту. На кожній польовій ділянці було зареєстровано 9 показників вологості ґрунту, по 3 показники кожного з різних зон ЕП на глибині 12 см. Середня вологість ґрунту під час картування ЕП становила 34,5% об'ємного вмісту води, який коливається від 17,3% до 43,7%.

### 3 АНАЛІЗ ДАНИХ ПОЛЬВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1 Перевірка фіксованої притискної сили сівалки

Вимірювання тиску гідравлічного масла забезпечило підтвердження того, що постійна притискна сила підтримувалася для всіх висівних агрегатів під час роботи в полі. Приклад гідравлічного тиску в режимі реального часу під час роботи в полі показано на рисунку 5. Дані прикладу показали, що гідравлічна система підтримувала постійний тиск на рівні приблизно 5,6 МПа протягом усього періоду випробувань. Можна помітити, що було кілька випадків, коли НК становив 0 Н, що означало, що рядок втрачав контакт із землею під час посіву (рис. 5).

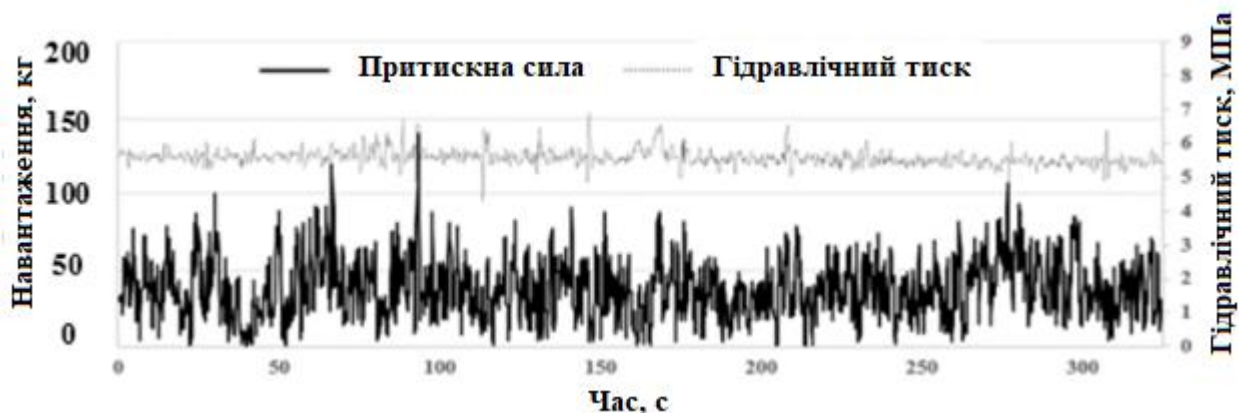


Рис. 5 - Приклад польових даних, які демонструють тиск гідравлічного масла для застосування фіксованої притискної сили на одній висівній секції

Дані були побудовані з використанням ковзного середнього, щоб згладити випадкові піки шляхом розрахунку середнього значення 5 послідовних точок даних. У таблиці 1 показано, що датчики навантаження на колесо вимірювального приладу показали постійну реакцію без навантаження, оскільки панель інструментів була піднята під час повороту на поворотній смузі протягом усього часу посіву. Низьке стандартне відхилення свідчить про те, що кожен датчик навантаження повертається до того самого 0 значення навантаження кожного разу, коли панель інструментів не була в положенні

посіву. Ці результати вказують на те, що датчики НК були точно відкалібровані та забезпечували стабільний вихід протягом усього періоду тестування.

Таблиця 1 - Описова статистика показань тензодатчиків без навантаження для кожної секції під час посіву

Поле		Показання тензодатчиків для кожного рядка, мА											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
А	сер.	4,43	-	4,17	4,05	4,46	4,73	4,56	4,32	4,07	4,33	4,02	4,31
	відх.	0,02	-	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
	мін.	4,26	-	3,95	3,70	4,15	4,46	4,29	4,04	3,82	4,00	3,70	4,03
	макс.	4,61	-	4,40	4,36	4,80	5,02	4,80	4,61	4,39	4,63	4,34	4,57
В	сер.	4,43	4,05	-	4,11	4,45	4,67	4,53	4,30	4,17	4,34	4,01	4,28
	відх.	0,02	0,06	-	0,11	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02
	мін.	4,36	3,73	-	3,95	4,35	4,55	4,44	4,21	4,08	4,25	3,90	4,16
	макс.	4,55	4,36	-	4,39	4,59	4,81	4,61	4,43	4,26	4,45	4,11	4,39
С	сер.	4,44	4,06	4,18	4,07	4,44	4,67	4,53	4,29	4,48	4,33	4,02	4,25
	відх.	0,02	0,13	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03
	мін.	4,26	2,39	3,90	3,68	4,04	4,30	4,16	3,90	4,10	3,98	3,66	3,92
	макс.	4,76	5,45	4,48	4,45	4,77	5,02	4,83	4,61	4,80	4,66	4,42	4,61

### 3.2 Розподіл притискної сили (НК)

Результати показали, що бажана НК від 12 до 57 кг була досягнута для 27%, 34% і 38% загального часу посіву для полів А, В і С, відповідно (рис. 6). Рисунок 6 показує, що НК в реальному часі окремих висівних секцій істотно змінюється протягом операції посіву для всіх полів. У середньому 35% часу НК був нижче нуля для поля А, 28% часу для поля В, тоді як лише 12% часу для поля С. Площі, засіяні НК нижче нуля, вказують на неадекватний контакт коліс із поверхнею ґрунту та невизначеною глибиною посіву. Частота, коли НК

була вище 100 кг, була найнижчою на полі В, що траплялося лише в 6% випадків. Такий розподіл НК у реальному часі в широкому діапазоні від < 0 до >100 кг протягом усього часу посіву узгоджується з іншими даними дослідів, які вказували, що вимірний НК кожного рядка істотно змінюється (від 20 до 600 кг) на короткі відстані під час руху вздовж посівної борозни.

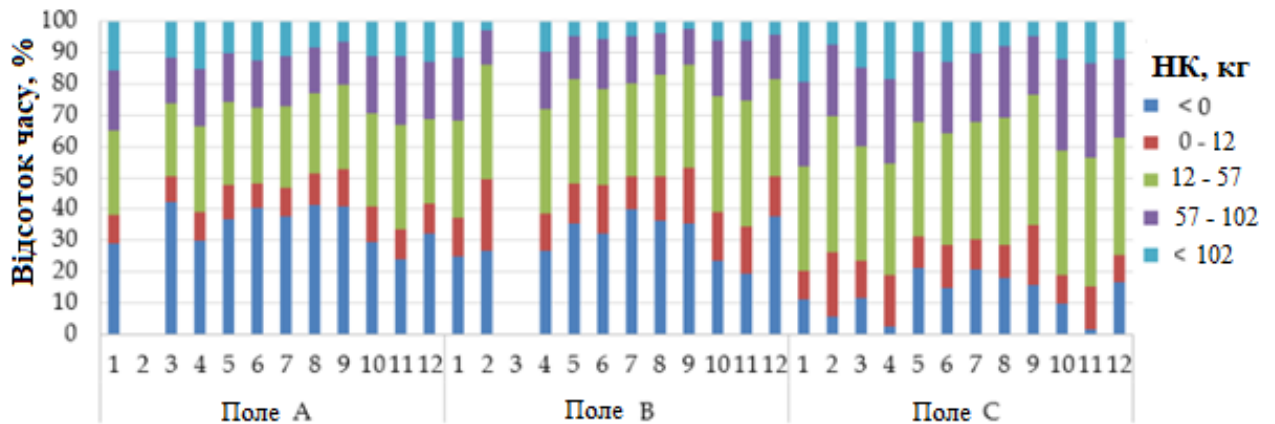


Рис. 6 - Середнє навантаження на коліс (НК) у відсотках часу для окремих висівних секцій було в межах і вище або нижче цільового діапазону від 12 до 57 кг для поля А, поля В і поля С. Дані для висівного агрегату 1 для поля А та одиницю рядка 3 для поля В видалено через помилки вимірювання

Результати показують, що НК призвів до значної площі (Рис. 7а, 8а та 9а) (14,7 га або 67%), засадженої з недоцільним і перевищенням НК. Відхилення в НК можна пояснити головним чином змінами у вимогах до навантаження сошникового диска, залежно від рельєфу місцевості, пожнивних решток, швидкості посіву та ущільнення на різних ґрунтах ЕП для досягнення глибини посіву. НК був нижче бажаного діапазону на 7% і вище цільового значення протягом 24% часу. Відсоток посівної площі, де НК становив 0 кг, був насамперед пов'язаний з вибором низького цільового НК на основі сприйняття виробником операції посіву.

Притискна сила на одну висівну секцію становила 138 кг (вага висівної секції та цільова НК), чого може бути недостатньо, щоб підтримувати контакт

коліс із землею під час сівби. Можна припустити, що до 220 кг може знадобитися притискний тиск для належного проникнення в ґрунт висівних органів, а недостатня вага може призвести до того, що колесо секції відірветься від землі. Таким чином, просторове відхилення НК, яке виникло на ділянці, свідчить про необхідність вибору більш високого цільового НК залежно від умов експлуатації поля. Крім того, може знадобитися автоматичне регулювання притискної сили для вибраних висівних агрегатів як керування секціями або для окремого рядка для більш рівномірного застосування НК під час посіву.

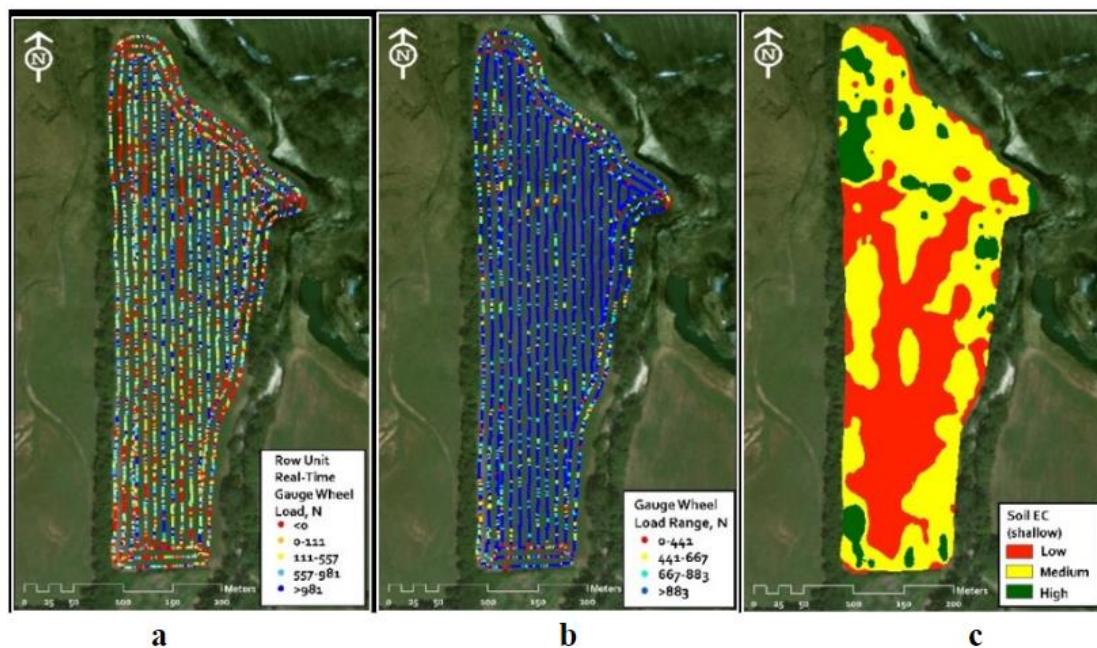


Рис. 7 - Навантаження на колесо (НК) висівної секції 1 (а); діапазон навантаження коліс (НК) (b) і; карта ЕП ґрунту (с) для поля А

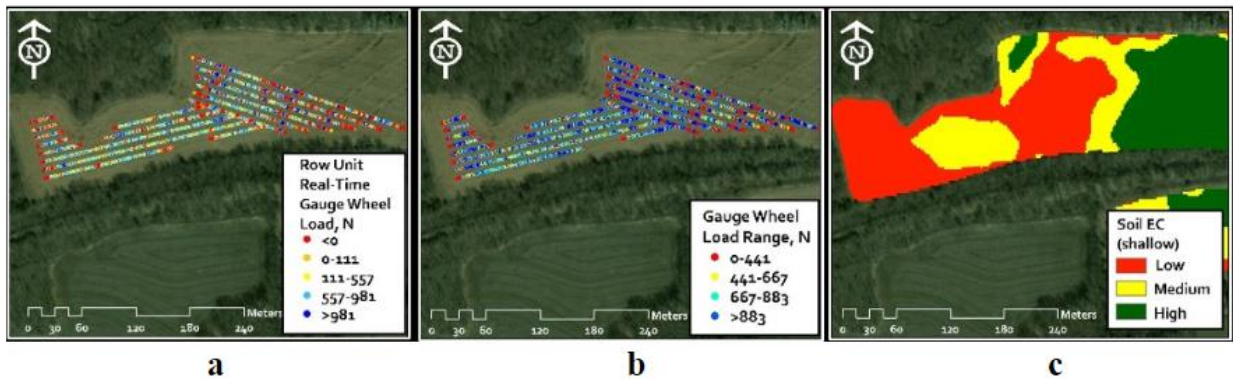


Рис. 8 - Навантаження на колесо секції (НК) 1 (а); діапазон навантаження коліс (НК) (b) і; ґрунтова карта ЕП (с) для поля В

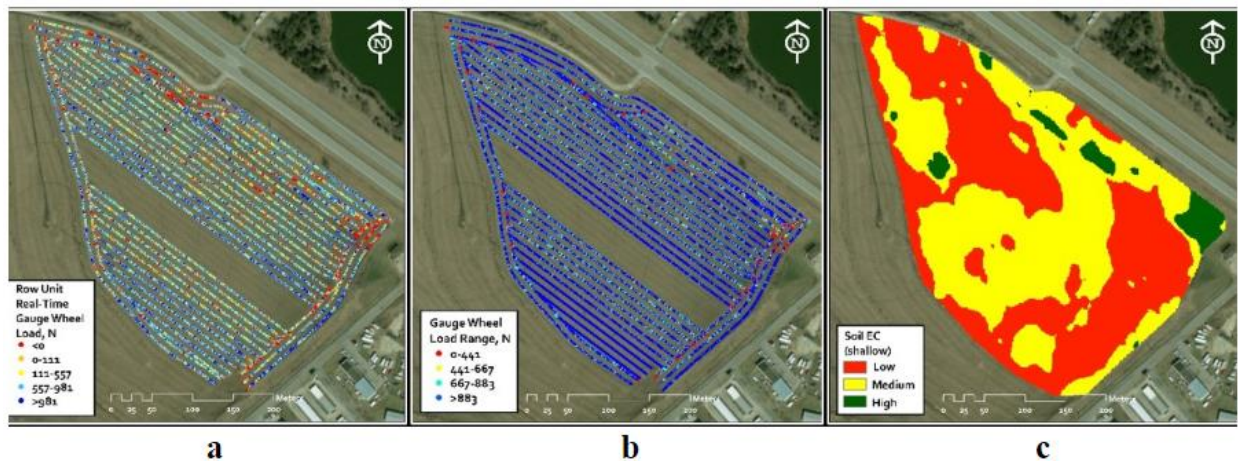


Рис. 9 - Навантаження на колесо (НК) висівної секції 1 (а); діапазон навантаження на колесо (НК) (b) і карта ЕП ґрунту (с) для поля С

### 3.3 Розподіл притискної сили

Результати випробувань показали, що приблизно 70% часу НК на 12 висівних секціях становив  $> 90$  кг для полів А і С, тоді як приблизно 41% часу для поля В (рис. 10). Поле С мало найнижчу частоту – приблизно 2% часу, коли різниця НК між двома рядками на панелі інструментів була в бажаному діапазоні від 0 до 45 кг. На малюнку 8 показано, що ця екстремальна зміна НК була спричинена тим, що висівні агрегати зазнавали різних рівнів

навантаження в реальному часі під час посіву, де одна висівна секція застосовує 0 НК, а інша – більше 90 кг.

Змінність НК від рядка до рядка на панелі інструментів вказує на те, що протягом більшої частини часу окрема висівна секція потребуватиме різного рівня застосування притискної сили для підтримки цільової НК. Таким чином, одного налаштування для всієї панелі інструментів буде недостатньо для досягнення цільової НК на всіх висівних секціях.

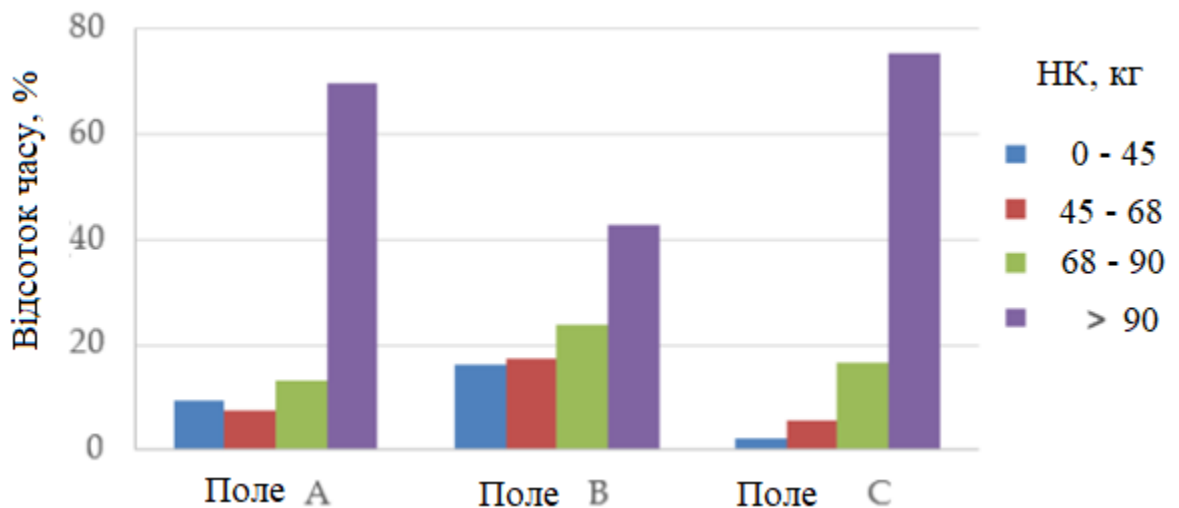


Рис. 10 - Відсотковий діапазон навантаження на колесо (НК)

### 3.4 Сценарії керування НК посекаційно

Результати зі сценаріями керування 2-рядними, 3-рядними та 4-рядними секціями вказують на те, що нижчий НК протягом більшого відсотка часу можна досягти з меншою кількістю рядків на секційний контроль (рис. 11). Приблизно 81%, 85% і 60% загального часу посіву НК знаходилися в межах бажаного діапазону від 0 до 45 кг для полів А, В і С, відповідно, для 2-рядного контролю секції. З іншого боку, НК для контролю 4-рядної секції був у бажаному діапазоні лише 23%, 46% та 15% від загального часу посіву для полів А, В та С відповідно. Оскільки кількість рядків збільшується в контрольній секції, мінливість також зростає зі значеннями НК >90 кг, що становить 23%, 4% і 19% від загального часу посіву для полів А, В і С, відповідно з 4-рядним

секційним керуванням. Такий результат вказує на те, що вимоги НК до висівних секцій суттєво відрізняються через зміну польових умов, і вибір меншої кількості рядків на секцію може призвести до більш рівномірного застосування НК під час посіву.

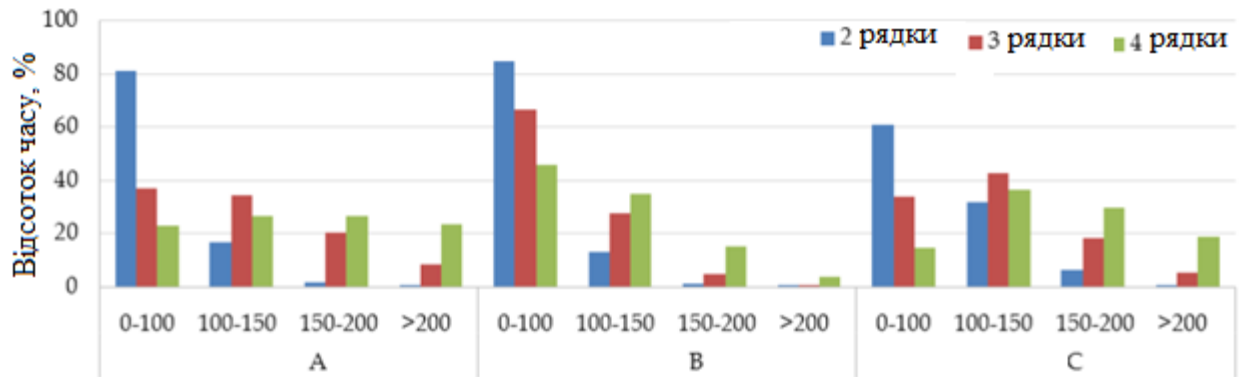


Рис. 11 - Варіабельність НК від рядка до рядка з різними комбінаціями контрольних секцій для всіх полів

### 3.5 Вплив типу ґрунту на середнє НК

Карти ЕП ґрунту показують, що текстура ґрунту різна по полю. Слід зазначити, що під час типового вікна посіву може випасти багато опадів, що може призвести до зміни середньої вологості під час посіву. Нижча, ніж бажана, або змінна в просторі вологість ґрунту під час посіву може додатково вплинути на мінливість НК через вплив на різний опір ґрунту на диски, що відкривають одиницю рядка. Посів був виконаний в один день для поля А, а поля В і С були висаджені наступного дня. Ґрунтові умови на всіх полях були такими, як польові, і за 2-3 дні до посіву опадів не було. Як і очікувалося, поля А, В і С показали зниження середнього НК зі збільшенням ЕП ґрунту на полях (рис. 12).

Оскільки ЕП ґрунту корелює з текстурою ґрунту, ґрунт з більшою текстурою, який складається з дрібніших частинок ґрунту та має більшу водоутримувальну здатність, створює щільніший ґрунт. Взаємодія текстури

грунту та наявної вологи змінюватиме силу, необхідну диску для проникнення в ґрунт. На всіх полях простий регресійний аналіз показав, що ЕП або текстура ґрунту були значущою ( $p < 0,001$ ) змінною, яка може впливати на НК у реальному часі.

Зміна НК під час посіву пов'язана зі зміною ЕП ґрунту, так що більш легкий ґрунт або низький ґрунт ЕП призводять до значно вищого НК (таблиці 2, 3 та 4). Усі поля призвели до значних відмінностей у середньому НК на низькому, середньому та високому рівні ЕП, за винятком поля С між ґрунтами з низьким та середнім ЕП. Цей результат свідчить про те, що стійкість ґрунту до відкриваючих дисків висівного блоку збільшувалася з вищим ЕП ґрунту, що вимагає вищої вимоги до вертикальної сили для відкриваючих дисків сівалки, зменшуючи кількість навантаження, яке несуть колеса сівалки, таким чином зменшуючи НК. Це узгоджується з висновками, які припускають, що вимоги до осадки для глинистого ґрунту вищі, ніж для піщаного ґрунту.

Незважаючи на те, що статистичні аналізи свідчать про значну різницю щодо сили, необхідної для дисків, для різних структур ґрунту, інші фактори, такі як швидкість посіву, і поверхневі залишки потенційно можуть спричинити мінливість у вимог дисків до навантаження на різні типи ґрунту, що може впливати на НК під час посіву.

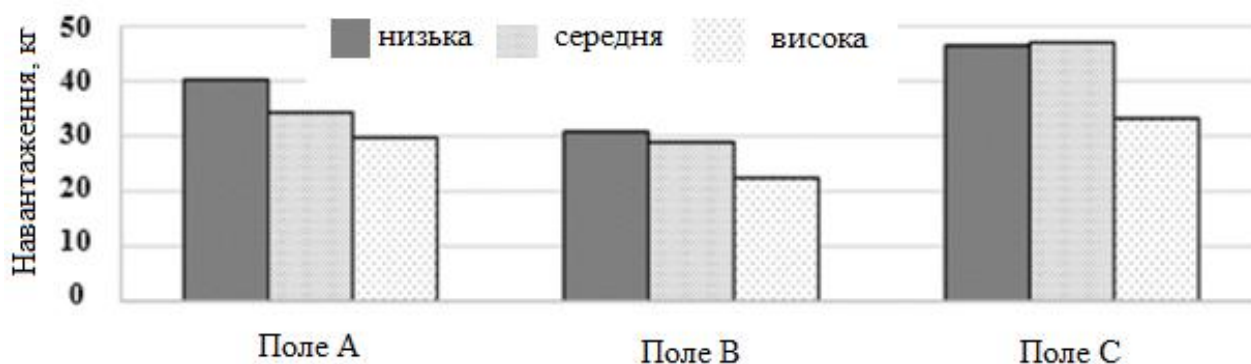


Рис. 12 - Середнє навантаження на колесо (НК) для поля А, поля В і поля С на низькому, середньому та високому рівні ЕП

Таблиця 2 - Описова статистика та порівняння середніх значень НК для поля А на різних ґрунтах за величиною ЕП

ЕП ґрунту	Сер. НК, кг	Ст. відхилення, кг	CV, %	Мін. НК, кг	Макс. НК, кг	Ст. похибка, кг	К-ть ділянок
Низька	41,1	23,2	5,8	-2,0	165,0	0,2	11496
Середня	35,0	25,0	7,3	1,8	178,5	0,2	16383
Висока	30,2	24,3	8,2	1,8	159,5	0,4	3146

Таблиця 3 - Описова статистика та порівняння середніх значень НК для поля В на різних ґрунтах за за величиною ЕП

ЕП ґрунту	Сер. НК, кг	Ст. відхилення, кг	CV, %	Мін. НК, кг	Макс. НК, кг	Ст. похибка, кг	К-ть ділянок
Низька	31,3	23,1	7,5	-1,9	167,0	0,4	3965
Середня	29,5	29,5	8,2	-1,8	170,4	0,7	1868
Висока	22,7	22,7	11,6	-1,7	133,8	0,7	1095

Таблиця 4 - Описова статистика та порівняння середніх значень НК для поля С на різних ґрунтах за величиною ЕП

ЕП ґрунту	Сер. НК, кг	Ст. відхилення, кг	CV, %	Мін. НК, кг	Макс. НК, кг	Ст. похибка, кг	К-ть ділянок
Низька	47,5	19,7	4,2	-2,3	207,9	0,2	16064
Середня	47,9	21,5	4,6	-2,6	233,8	0,2	14598
Висока	33,8	22,4	6,8	-2,1	145,0	0,5	1974

Загалом три ґрунтові зони ЕП показали різні середні НК в діапазоні від 30,2 кг до 41,1 кг для поля А, 22,7 кг до 31,3 кг для поля В і 33,8 кг до 47,9 кг для поля С. Стандартні відхилення (StDev) середнього НК для трьох полів були

майже ідентичними, але коефіцієнт варіації (CV) показує, що мінливість НК збільшується від легшого до більш важкого ґрунту. Ці результати показали, що фіксована система притискної сили не зможе забезпечити безперервну зміну притискної сили, необхідної для підтримки цільової НК, оскільки опір ґрунту змінюється разом із ЕП ґрунту по полю. Крім того, від'ємний мінімальний НК свідчить про випадки, коли відкриваючі диски можуть вимагати додаткового навантаження, більшого, ніж те, що доступне на вимірювальному колесі для проникнення в ґрунт. Розподіл НК також припускає, що буде потрібне керування секціями висівного агрегату, оскільки вимоги до притискної сили від рядка до рядка відрізняються в полі. НК для 12-рядних агрегатів також вказують на те, що під час впровадження контролю притискної сили сівалка повинна мати налаштування керування для здійснення завантаження та розвантаження висівних секцій на основі посіву в умовах різного опору ґрунту.

### 3.6 Ущільнення від шин і НК

Опір ґрунту також може змінюватись залежно від ущільнення ґрунту через шини трактора та переміщення іншого сільськогосподарського обладнання протягом сезону виробництва. Ущільнення ґрунту за рахунок тракторної шини призвело до значного зниження НК (табл. 5, 6 та 7). Результати показують, що смуги, висаджені вздовж ділянок без слідів шин, призвели до середнього зниження НК на 13%, 12% і 14% для полів А, В і С відповідно (рис. 13).

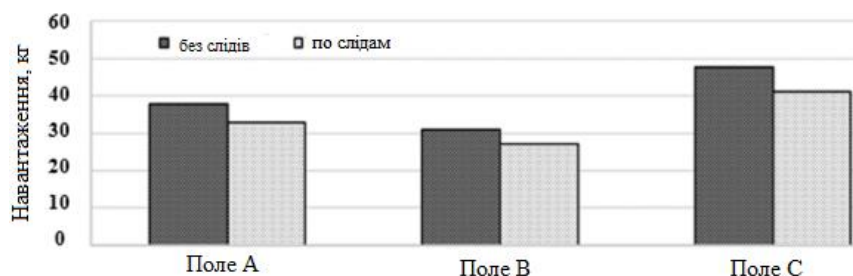


Рис. 13 - Середня НК для трьох полів у двох різних розташуваннях смуги

Ці результати свідчать про те, що ущільнений ґрунт, спричинений шинами трактора, збільшує опір дискам, що відкривають, проникати в ґрунт під час утворення борозни на необхідній глибині посіву. Такі висновки узгоджуються з даними, які повідомляють про вищий індекс ґрунтового конуса вздовж слідів шин, що вказує на ущільнення ґрунту шинами трактора під час посіву. Отримане збільшення опору вимагало б, щоб диски, сприймали додаткове навантаження, що переноситься колесами, таким чином зменшуючи НК. Це також наголошує на необхідності майбутніх досліджень, щоб зрозуміти потреби впровадження системи керування притисковою силою для ущільнених (шинних доріжок) проти неущільнених (без шинних доріжок) польових ділянок і, якщо різним рядам потрібні різні цільові діапазони притискової сили, щоб підтримувати однакову НК і глибину посіву.

Таблиця 5- Описова статистика та порівняння середніх НК для трьох полів у двох місцях смуги

Смуга	Сер. НК, кг	Ст. відхилення, кг	CV, %	Мін. НК, кг	Макс. НК, кг	Ст. похибка, кг	К-ть ділянок
Зі слідами шин	33,6	28,5	8,6	-2,6	203,1	0,2	31025
Без слідів шин	38,6	25,8	6,8	-2,5	180,6	0,1	31025

Таблиця 6 - Описова статистика та порівняння середніх НК для трьох полів у двох місцях смуги

Смуга	Сер. НК, кг	Ст. відхилення, кг	CV, %	Мін. НК, кг	Макс. НК, кг	Ст. похибка, кг	К-ть ділянок
Зі слідами шин	27,7	27,8	10,2	-2,2	187,2	0,3	6928
Без слідів шин	31,6	25,0	8,0	-2,0	176,8	0,3	6928

Таблиця 7 - Описова статистика та порівняння середніх НК для трьох  
полів у двох місцях смуги

Смуга	Сер. НК, кг	Ст. відхи- лення, кг	CV, %	Мін. НК, кг	Макс. НК, кг	Ст. похи- бка, кг	К-ть ділянок
Зі слідами шин	48,8	21,6	4,5	-5,4	212,3	0,1	32636
Без слідів шин	41,9	26,3	6,4	-20,0	279,3	0,1	32636

## ВИСНОВКИ

Це дослідження дало наступні ключові висновки: у середньому цільова НК від 12 до 57 кг була досягнута в 27%, 34% і 38% часу для полів А, В і С відповідно. НК у реальному часі нижче цільового діапазону становив 38%, а вище цільового – 29% часу в трьох полях. Різні сценарії керування секціями рядків показують, що 2-рядний контроль секції є кращим, аніж 4-рядний, щоб отримати більш рівномірний контроль НК від ряду до ряду для врахування різноманітних умов ґрунту, які виникають під час посіву. Було помічено, що в середньому лише 9% часу НКР був у діапазоні від 0 до 45 кг на 12-рядних агрегатах, тоді як 28% часу для 4-рядної секції та 76% часу для 2-рядної керуючої секції .

Регресійний аналіз показує, що ЕП ґрунту або текстура ґрунту були важливим параметром, який може впливати на НК у реальному часі. Численні порівняння показали, що низька ЕП ґрунту призвела до значно вищого НК порівняно з високою ЕП ґрунту на трьох полях. Проте швидкість руху, пожнивні рештки та інші фактори також могли вплинути на мінливість НК. Доріжки з шинами та без шин також призвели до суттєво різної середньої НК. Середня НК для висівних секцій на смугах без слідів шин становила 38,6 кг, 31,6 кг і 48,8 кг для полів А, В і С, відповідно, що було на 13%, 12% і 14% значно нижчим порівняно із середнім НК на ділянках зі слідами шин.

Ці результати припускають, що обрана цільова НК для фіксованої системи керування притискною силою була надто низькою, тому вона не могла реалізувати цільову НК більшу частину часу під час посіву.

Такий випадок може призвести до невеликої глибини посіву. Результати також свідчать про потребу в системі автоматичного керування притискною силою, яка здатна контролювати менші контрольні секції та незалежне керування секціями для висівних агрегатів уздовж колії та поза колією, що

може призвести до більш узгодженого застосування НК на всіх рядках під час посіву. Майбутні дослідження необхідно проводити з просапною сівалкою, яка використовує автоматичну систему керування притисковою силою для кількісної оцінки рівномірності НК окремих рядків або контрольних секцій за змінних робочих умов поля.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Схожість насіння як один із важливих показників [Електронний ресурс] // syngenta.ua. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.syngenta.ua/news/novini-kompaniyi/shozhist-nasinnya-yak-odin-iz-vazhlyvih-pokaznikiv>.
2. Чому необхідно перевіряти схожість насіння перед посівом [Електронний ресурс] // Головне управління Держпродспоживслужби в Черкаській області. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.cherk-consumer.gov.ua/hromadianam/upravlinnia-fitosanitarnoi-bezpeky/novyny-upravlinnia-fitosanitarnoi-bezpeky/1965-chomu-neobkhidno-pereviriaty-skhozhist-nasinnia-pered-posivom>.
3. Полторецький С. П. Оцінка залежності врожайності і показників якості насіння проса залежно від строку та способу сівби / С. П. Полторецький, Н. М. Полторецька. // ВІСНИК Полтавської державної аграрної академії. – 2019. – №4. – С. 29–31.
4. Радіонов Д. Якість висіву соняшнику 94%, або Tempo F — сівалка, яку потрібно розуміти [Електронний ресурс] / Д. Радіонов // Агробізнес сьогодні. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://agro-business.com.ua/2017-09-29-05-56-43/item/11904-yakist-vysivu-soniashnyku-94protsent-abo-tempo-f-sivalka-iaku-potribno-rozumity.html>.
5. Котигора О. Вплив строків та норм висіву на урожайність соняшника [Електронний ресурс] / О. Котигора // СуперАгроном. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://superagronom.com/articles/484-oleksandr-kotigora-vpliv-strokov-ta-norm-visivu-na-urojajnist-sonyashnika>.
6. Сіяти соняшник зі змінною нормою чи ні? Результати дослідження на 50 полях [Електронний ресурс] // Агроном. – 2021. – Режим доступу до

ресурсу: <https://www.agronom.com.ua/siyaty-sonyashnyk-zi-zminnoyu-normoyu-chy-ni-rezultaty-doslidu-na-50-polyah/>.

7. Посів соняшнику на міжряддя 12,5 см [Електронний ресурс] // Агробізнес сьогодні. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://agrobusiness.com.ua/2017-09-29-05-56-43/item/2355-posiv-soniashnyku-na-mizhriaddia-12-5-sm.html>.

8. Фактори, які впливають на прибуткове вирощування гібридів кукурудзи [Електронний ресурс] // Seed Ukraine. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://seed-ua.com/ua/factory-yaki-vplyvayut-na-prybutkove-vyroshhuvannya-gibrydiv-kukurudzy/>.

9. Amankulova K., Farmonov N., Mucsi L. Time-series analysis of Sentinel-2 satellite images for sunflower yield estimation, Smart Agricultural Technology, Vol. 3, 2023 DOI:10.1016/j.atech.2022.100098.

10. Налаштування сівалок при проблемах з посівом і глибиною заробки насіння [Електронний ресурс] // Поради від команди DEKALB. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.dekalb.ua/agronomichna-biblioteka/porady-vid-monsanto/nalashtuvannja-sivalok>.

11. Легкодух І. Автоматизовані системи контролю якості сівби для просапних сівалок [Електронний ресурс] / І. Легкодух, Н. Легкодух // Агросеа. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: [https://agrosea.com.ua/UKRNIPVT\\_POGORILOGO/](https://agrosea.com.ua/UKRNIPVT_POGORILOGO/).

12. Процеси, машини та обладнання АПВ [Текст] : навч. посіб. / М. О. Свірень, В. П. Смірнов, І. М. Осипов та ін. - Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2018. - 296 с.

13. Як оцінити якість посіву? Plant Counting: Pogostick та дрони [Електронний ресурс] // aggeek. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://aggeek.net/ru-blog/yak-otsiniti-yakist-posivu-plant-counting-pogostick-ta-droni>.

14. Правильний посів: основні фактори, що впливають на врожайність під час сівби польових культур. [Електронний ресурс] // AgroDay. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://agroday.com.ua/2019/05/14/pravylnyj-posiv-osnovni-factory-shho-vplyvayut-na-vrozhajnist-pid-chas-sivby-polovyh-kultur/>.

15. Морозов І. Фактори ефективності сівалок [Електронний ресурс] / І. Морозов, М. Макаренко // Агробізнес Сьогодні. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <http://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/1138-factory-efektyvnosti-sivalok.html>.

16. Васильченко В. Фактори, які визначають якість сівби [Електронний ресурс] / В. Васильченко, В. Опалко // Агроном. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.agronom.com.ua/factory-yaki-vyznachayut-yakist-sivby/>.

17. Спосіб оцінки точності висіву [Електронний ресурс] / О.Банний, А. Новицький, С. Карабиньош, Ю. Новицький // Пропозиція, № 5. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://propozitsiya.com/ua/sposib-ocinky-tochnosti-vysivu>.

18. Shannon D., Clay E., Kitchen N. (2018). Precision Agriculture Basics. American Society of Agronomy, Incorporated, 230p.

19. Jupp L. (2018). Precision Farming From Above. Writing Matters Publishing, 113 p.

20. Zubko V., Sirenko V., Kuzina T., Onychko V., Sokolik S., Roubik H., Koszelg M., Shchurh T. (2022) Modelling wheat grain flow during sowing based on the model of grain with shifted center of gravity. Agricultural Engineering, Vol. 26 , No 1 , pp. 25-37 DOI: 10.2478/agriceng-2022-0003.

21. Delta Force [Електронний ресурс] // Precision Planting. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.precisionplanting.com/products/product/deltaforce>.

22. Збірник методик з використання машин в землеробстві /За ред. Мельника В. І. – Харків: “Промпроект” – 2020, 257 с.

23. Павлюк І. Вимоги охорони праці при проведенні посівних робіт [Електронний ресурс] / І. Павлюк // Охорона праці і пожежна безпека. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://oppb.com.ua/content/vymogy-ohorony-praci-pry-provedenni-posivnyh-robit>.

24. Безпека працівника під час весняно-польових робіт першочергове завдання роботодавця [Електронний ресурс] // Управління держпраці у хмельницькій області. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <http://km.dsp.gov.ua/news/572-bezpeka-pracvnika-pd-chas-vesnyano-polovih-robt-pershochergove-zavdannya-robotodavcya.html>.

25. Тарельник Н.В. Методичні вказівки до виконання розділу: «Техніко-економічне обґрунтування» магістерської роботи 2м курсу спеціальності 208 Агроінженерія денної і заочної форм навчання . – Суми: СНАУ, 2020. – 26 с.

# Додатки