

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерних технологій та професійної освіти
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
«__» _____ 2026 р.
Зав. кафедри д.т.н., професор
(науковий ступінь, вчене звання)
Володимир ДІДУР
(підпис) (ініціали, прізвище)

Кваліфікаційна робота (дипломний проект)
перший (бакалаврський)
(назва освітнього рівня)

тема проекту: «Удосконалення задньої начіпної системи для
покращення обертання машино-тракторного агрегату»

Виконав: студент 3 курсу, групи 33к-ім
освітньої програми бакалавр
спеціальності 208 «Агроінженерія»
Бараннік Микола Олександрович
(прізвище та ініціали)
Керівник к.е.н., доцент Кутковецька Т.О.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ.....	3
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ.....	4
1.1. Способи агрегування та конструкції начіпних систем машинно-тракторних агрегатів.....	4
1.2. Вплив заднього начіпного обладнання на поворотність машино-тракторного агрегату.....	10
Висновки по розділу.....	12
РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	13
2.1. Опис удосконаленої конструкції задньої начіпної системи трактора.....	13
2.2. Вплив жорсткості начіпної системи на поворотність машино-тракторного агрегату.....	14
2.3. Результати дослідження поворотності машино-тракторного агрегату з удосконаленою задньою начіпною системою.....	18
Висновки по розділу.....	24
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	25
3.1. Організація охорони праці в сільськогосподарському виробництві.....	25
3.2. Заходи з охорони праці під час роботи з машино-тракторними агрегатами.....	26
Висновки по розділу.....	27
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЕКТУ.....	28
Висновки по розділу.....	31
Загальні висновки.....	32
Список використаних джерел.....	33

ВСТУП

В останні роки в Україні спостерігається тенденція росту посівних площ сільськогосподарських культур, тому збільшується потреба в техніці для обробітку ґрунту, що в свою чергу є фактором стимулювання попиту на якісну сільськогосподарську техніку.

Для обробітку ґрунту використовуються трактори з різними типами приєднання до них робочого обладнання. Існують різні типи ґрунтообробного обладнання, вони мають свої переваги і недоліки. Як показує практика, начіпне обладнання є найбільш ефективним у роботі. Основними перевагами начіпних пристроїв є: проста конструкція, мала вага і металоємкість, висока маневреність та простота експлуатації.

Проте, застосування начіпного обладнання та збільшення швидкості руху машино-тракторних агрегатів (МТА) на базі колісних тракторів при виконанні робочих процесів призводить до суттєвої зміни експлуатаційних характеристик агрегату, які безпосередньо впливають на обертальність під час руху на поворотній смузі. При агрегуванні сільськогосподарських машин на задній начіпній системі трактора відбувається збільшення інерційних сил, що виникають у ній, ці сили сприяють зміщенню агрегату з необхідної траєкторії руху, відбувається занесення задньої осі трактора, внаслідок чого збільшуються радіус повороту, витрата палива і т. ін. Все це негативно впливає на якість виконання технологічної операції та продуктивність агрегату. Тому, тема досліджень є актуальною.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ

1.1. Способи агрегування та конструкції начіпних систем машинно-тракторних агрегатів.

На сьогодні більшість операцій на полі виконують машино-тракторними агрегатами (МТА), що являють собою технічні системи, які складаються з трактора та однієї або декількох одиниць обладнання (машин, знарядь і т.д.), пов'язаних з'єднувальними пристроями, силовими приводами, управління якими, як правило, здійснюється безпосередньо трактористом з кабіни трактора за допомогою різних електронних, гідравлічних та пневматичних систем.

МТА класифікуються за такими ознаками [8]:

1. За призначенням: технологічні (орні, посівні, по догляду за рослинами, збиральні), транспортні, транспортно-технологічні (кормороздавачі, машини для внесення добрив), вантажно-розвантажувальні.
2. За способом виконання робіт: мобільні, стаціонарно-пересувні, стаціонарні.
3. За способом з'єднання обладнання з трактором: причіпні, напівпричіпні, начіпні.
4. За кількістю обладнання в агрегаті: одно машинні та багатомашинні.
5. За кількістю операцій, що одночасно виконуються: прості, складні, комбіновані.
6. За розміщенням обладнання відносно трактора та його поздовжньої осі: з переднім, середнім, заднім, бічним, симетричним та асиметричним розташуванням.

Найважливішою характеристикою агрегату, що впливає на більшість його кінематичних, динамічних і геометричних параметрів є спосіб з'єднання робочого обладнання з трактором [1, 6].

Агрегати різної комплектації мають свої переваги і недоліки. Проте, як показує практика, начіпні агрегати є найефективнішими в роботі. Основними перевагами начіпних агрегатів є наступні [8]:

1. Відносно спрощена конструкція через відсутність доповнення опор та елементів шасі, що позитивно позначається на вартості агрегату.

2. Менша металомісткість та вага. Маса начіпного обладнання в середньому в 1,5 ... 2 рази нижче, ніж причіпного, що також знижує його вартість.

3. Підвищена маневреність при крутих поворотах, можливість руху заднім ходом у транспортному положенні та відповідно підвищення якості обробітку ґрунту у важкодоступних ділянках і краях полів, скорочення часу й витрат палива на холості проїзди.

4. Зниження буксування ведучих коліс через те, що вага обладнання повністю сприймається трактором.

5. Зручність та легкість керування за рахунок розміщення органів керування в кабіні трактора, завдяки чому не потрібен окремий працівник. Можливість застосування автозчепів – пристроїв для автоматичного з'єднання трактора та обладнання є найважливішою перевагою начіпних агрегатів.

Схема автозчеплення СА-1, яка найчастіше використовується в начіпних системах тракторів, представлена на рис. 1.1 [8].

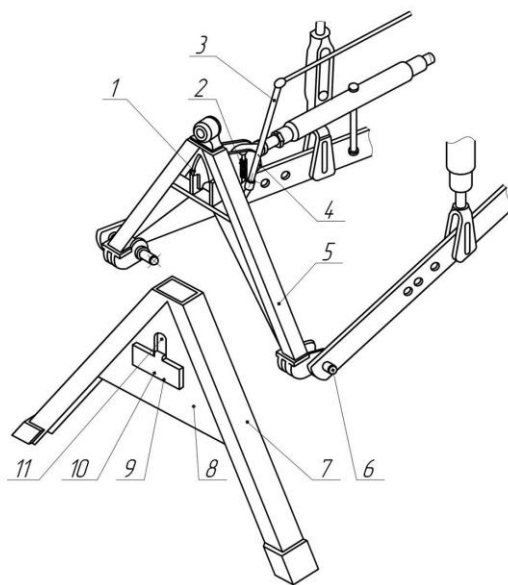


Рисунок 1.1 – Автозчеплення СА-1

Основними елементами автозчеплення є рамка 1 та замок 2. Рамка 1 являє собою конструкцію з двох труб квадратного перерізу, зварених під кутом 65° . У верхньому кутку рамки розташовані дві поперечні планки 3 з отворами та пазами, в які вставляється палець шарніру центральної регульованої тяги навішування. Також тут розташований механізм фіксації, що є засувкою 4, яка утримується в робочому положенні за допомогою важеля 5 і пружини 6. Важіль 5 завершується рукояткою, з кінцем якої з'єднаний трос, простягнутий у кабіну. За його допомогою засувка 4 відтягується назад при необхідності від'єднання начіпного обладнання. У нижній частині рамки 1 встановлені пальці 7, за допомогою яких вона кріпиться до шарнірів поздовжніх тяг навішування. Замок 2 зварений з двох швелерів під кутом 65° , у його верхній частині приварений сталевий трикутний зв'язок 8, який забезпечує жорсткість конструкції та є елементом фіксації. У зв'язку 8 вирізаний овальний паз 9, який служить відповідною частиною для засувки 4, в його нижній частині болтами монтується пластина-ексцентрик 10. Упор 11 служить для надійної фіксації засувки 4.

При навішуванні обладнання, рамка 1, підйомом навішування, вводиться в замок 2. При досягненні верхньої точки клямка входить у паз 9 у зв'язок 8 на замок 2 і замикається. Засувка має гакоподібну форму, тому вона стопориться ексцентриком 10 на замку 2, і рамка 1 не може вийти із зачеплення із замком 2. При необхідності від'єднати обладнання, механізатор в кабіні тягне за трос, важіль 5 відтягує пружину 6 і засувка 4 виходить із паза 9, що дозволяє обладнанню від'єднатися від трактора.

Дана схема з'єднання обладнання та трактора дозволяє задовольнити низку вимог, без виконання яких неможливе досягнення необхідної продуктивності: надійність і простота з'єднання з трактором; гарантування необхідного інтервалу вертикального переміщення навішеної техніки, забезпечення необхідного поперечного відхилення обладнання в робочому положенні відносно трактора при оранці та інших операціях; стійкий рух обладнання за трактором; легкість повороту МТА у робочому та транспортному положеннях; можливість у робочому положенні блокування поперечного зміщення обладнання, яке виконує

посів або міжрядний обробіток; надійне блокування при підйомі в транспортне положення обладнання від опускання, розгойдування та забезпеченням достатньої прохідності агрегату по шляху і польових дорогах, й мінімального впливу на стійкість під час руху поворотною смугою [6]. Тому, при виконанні робіт з обробітку сільськогосподарських культур працівники аграрного сектору віддають перевагу начіпним агрегатам.

Проте, агрегування начіпного обладнання має такі недоліки [8]:

1. Вага обладнання цілком сприймається колесами трактора, що в свою чергу збільшує його негативний вплив на ґрунт.

2. При експлуатації обладнання в транспортному положенні іноді виникає «ефект маятника», який супроводжується знесенням задньої осі трактора з початкової траєкторії руху при виконанні поворотів, через те, що відбувається зміщення центру тяжіння за рахунок того, що в місцях приєднання обладнання до навішування виникають значні інерційні навантаження.

Виходячи із вище сказаного, найважливішим напрямком підвищення стійкості криволінійного руху МТА є зниження динамічних навантажень на нього з боку начіпного обладнання, що дозволить також збільшити продуктивність агрегату, підвищити тягово-зчіпні властивості, зменшити енергетичні витрати на пересування трактора та нормальний тиск рушія на ґрунт, що обмежить його вплив на структуру та фізико-механічні властивості ґрунту.

Механізми навішування за способом приєднання до трактора підрозділяються на двоточкові та триточкові [8].

При двоточковому з'єднанні нижні поздовжні тяги 1 і 2 з'єднані в одній точці (Рис. 1.2), що дозволяє агрегату відхилятися від прямолінійної траєкторії на кут завбільшки до 20° . Цю схему використовують на тракторах класів 3, 4, 5, 6, 7, 8 під час роботи з плугами, бурякопідйомними та іншими пристроями, робочі органи яких глибоко заглиблюються в ґрунт.

Трьохточкові механізми застосовуються для тракторів тягових класів 0,6; 0,9; 1,4; 2. Перевагою даного способу з'єднання є те, що нижні поздовжні тяги 1 і 2 навішування кріпляться в різних точках (Рис. 1.3). Верхні поздовжні тяги 3 при

цьому в обох випадках мають симетричне розташування відносно поздовжньої осі трактора.

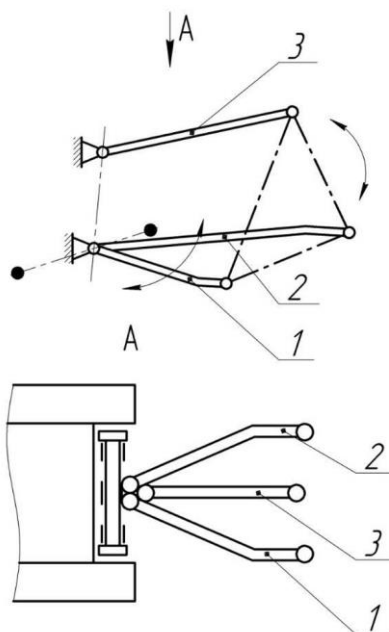


Рисунок 1.2 – Схема двоточкового механізму навішування:

1, 2 – нижні поздовжні тяги; 3 – верхня поздовжня.

Трьохточковий спосіб з'єднання відрізняється підвищеною жорсткістю сполучення обладнання та трактора, забезпечує стійкий прямолінійний рух агрегату, застосовується при оранці, при агрегуванні культиваторів, сівалок та інших широкозахватних машин.

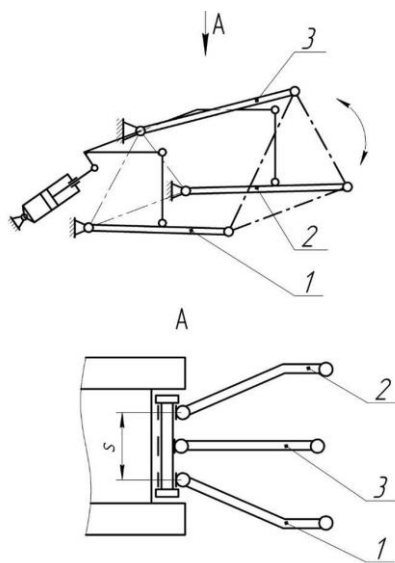


Рисунок 1.3 – Схема трьохточкового механізму навішування:

1, 2 – нижні поздовжні тяги; 3 – верхня поздовжня тяга.

Колісні трактори обладнані трьохточковим начіпним пристроєм, тоді як на гусеничних тракторах існує можливість переобладнання трьохточкової схеми навішування на двоточкову.

За місцем сполучення обладнання та трактора начіпні системи бувають фронтальні, бічні, передні, комбіновані, задні (Рис. 1.4) [8].

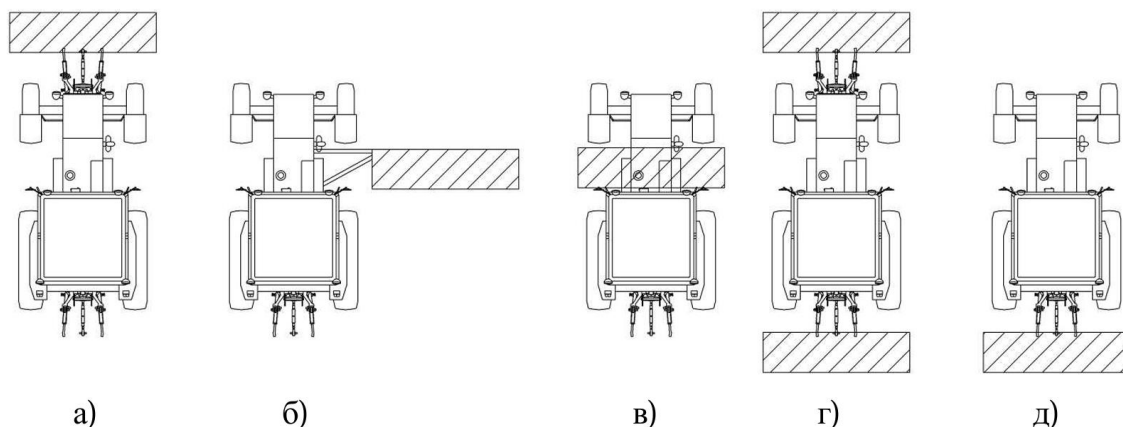


Рисунок 1.4 – Способи навішування обладнання на трактор:

- а – фронтальна начіпна система; б – бічна начіпна система;
в – передня начіпна система; г – комбінована начіпна система;
д – задня начіпна система.

Найбільше застосовується спосіб навішування задній для більшості агрегатів, зокрема ґрунтообробних та посівних. Такий спосіб навішування сприяє кращому зчепленню задніх коліс з ґрунтом і меншого буксування. З недоліків можна відзначити відсутність обладнання в зоні видимості тракториста, погіршення керованості та зниження, а найчастіше навіть, втрата стійкості при здійсненні поворотів через додаткове навантаження задньої осі трактора, і нерівномірний розподіл вагового, тягового та інерційного навантажень по його мостах.

Таким чином, застосування заднього начіпного обладнання, з'єднаного з трактором за трьохточковою схемою є найбільш поширеним. Таке обладнання найбільше затребуване на ринку, про що говорить статистика його виробництва з 2015 року. За цей період часу з усього обсягу виробленого сільськогосподарського обладнання найбільшу кількість посідає начіпне [8].

1.2. Вплив заднього начіпного обладнання на поворотність машино-тракторного агрегату.

Розрізняють статичну та динамічну поворотності.

Статична поворотність – властивість машини, що рухається по колу із закріпленим кермом (при незмінному повороті керованих коліс), змінювати кривизну траєкторії в залежності від швидкості руху під дією бічної складової сили інерції, аеродинамічної сили або будь-якої іншої перешкоди, включаючи зміну характеристик шин та підвіски [3].

Динамічна поворотність – властивість машини змінювати кривизну траєкторії відповідно до повороту керма і зміною швидкості руху.

Загальноприйнятими критеріями оцінки поворотності трактора є такі [3]:

1. Мінімальний радіус повороту трактора під час криволінійного руху.
2. Граничне значення швидкості зміни кривизни траєкторії.
3. Кількість енергії, витраченої на керування трактором при його русі по заданій траєкторії.
4. Питома сила тяги, необхідна для виконання повороту.
5. Коефіцієнт використання зчіпної сили двигуна.

Параметри, що впливають на критерії обертання, бувають керованими, на які можливий вплив оператора, та некеровані. До керованих параметрів відносять кут і кутову швидкість повороту керуючих коліс, кутову швидкість повороту і швидкість поступального руху трактора, час повороту й шлях пройдений трактором. Інші параметри (переважно конструктивні) – некеровані [2].

На більшість вище згаданих параметрів можливий вплив оператора, як керуючого ланки. Тому, для того щоб його виключити, необхідно вибрати такі критерії поворотності, що відображають тільки конструктивні параметри агрегату.

Деякі науковці запропонували критерій оцінки статичної поворотності, що є відношенням фактичного і теоретичного радіусів повороту [3].

Існуючі теоретичні та експериментальні підходи до оцінки характеристик криволінійного руху начіпного МТА на базі колісного трактора не завжди повною мірою відбивають реальну картину його руху. У багатьох дослідженнях,

присвячених питанням забезпечення стійкості та керованості криволінійного руху МТА, не одержала достатнього розвитку оцінка впливу начіпних систем на ці експлуатаційні властивості.

Більшість досліджень криволінійного руху проведено для окремого трактора. Проте, експериментально та теоретично доведено, що заднє начіпне обладнання негативно впливає на керованість трактора, особливо на поворотній смузі, де відбувається значне відхилення його дійсної траєкторії руху від теоретичної, в основному за рахунок бокового під дією інерційних сил, що призводить до погіршення техніко-економічних показників при виконанні сільськогосподарських операцій. Науково-обґрунтовані рішення цієї проблеми відсутні; практично не вивчено питання зниження впливу динамічних факторів у ланцюзі передачі навантаження від обладнання на рушії трактора при повороті [14].

В роботі [13] автори вказують, що використання заднього начіпного обладнання з одного боку покращує зчеплення коліс з ґрунтом, а з іншого – збільшує відцентрову силу інерції, що діє на трактор та викликає зростання бічних реакцій на колесах, що значною мірою змінює траєкторію руху та призводить до збільшення радіуса повороту. Встановлено, що при цьому відбувається не лише бокове буксування, а й занесення МТА, зумовлене, в основному, дією моменту сил інерції, величина якого визначається за формулою [12]:

$$M_u = -J_s \cdot \varepsilon = -J_s \cdot \frac{v \cdot a \cdot t}{(\rho_0 + \frac{a \cdot t^2}{2})^2}, \quad (1.1)$$

де J_s – момент інерції МТА, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; ε – кутове прискорення МТА, с^{-2} ; a – лінійне прискорення центру мас МТА, $\text{м}/\text{с}^2$; ρ_0 – початковий радіус повороту, м.

Виявлено [9], що радіус ρ та швидкість v не є постійними навіть на ділянці встановленого повороту. Це призводить до зміни кутової швидкості повороту трактора та появи кутового прискорення. При цьому відбувається уповільнення повороту, і момент інерції збігається по напрямку з напрямком повороту, що сприяє виникненню заносу задньої осі трактора.

Збільшення радіусу кривизни траєкторії в роботах [6] пояснюється впливом відцентрової сили інерції, що діє на трактор. При цьому відбувається бічне відведення направляючих коліс, внаслідок чого виникає зсув і зминання шару ґрунту. Для м'яких ґрунтів це явище особливо характерне. Доведено, що підвищення швидкості руху МТА з навішаним на задню навісну систему обладнання призводить до значного збільшення шляху поворотної смуги та часу на виконання повороту.

Все перелічене вище вказує на те, що застосування начіпного обладнання має негативний вплив на поворотність МТА. Відбувається збільшення радіусу та часу проходження повороту, спостерігається бокове буксування і занос, підвищується кількість впливів оператора на рульове колесо, що призводить до погіршення техніко-економічних показників роботи трактора та зниження загальної якості виконаних робіт, а також через збільшення навантаження на рушії, внаслідок зростання загальної маси МТА, підвищується ущільнення ґрунту.

Таким чином, одним із можливих способів підвищення стійкості трактора на поворотній смузі із заднім начіпним обладнанням є удосконалення конструкції начіпної системи запровадженням пружних елементів у ланцюгу передачі інерційних зусиль, що виникають від обладнання, на рушії трактора.

Висновки по розділу

Таким чином, за проведеними дослідженнями в першому розділі можна зробити такі висновки:

1. Найбільш поширеною на даний час схемою комплектації МТА на базі колісних тракторів є задня трьохточкова система навішування обладнання, що забезпечується автоматичним зчіпним пристроєм.

2. Одним із можливих способів підвищення стійкості трактора на поворотній смузі із заднім начіпним обладнанням є удосконалення конструкції начіпної системи.

РОЗДІЛ 2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Опис удосконаленої конструкції задньої начіпної системи трактора.

Удосконалення конструкції задньої начіпної системи проводилося на базі начіпки трактора МТЗ 1221.2 [11]. Дослідження здійснювалися з усіма ведучими та передніми керованими колесами. Трактор агрегатувався з начіпним обладнанням: плугом ПЛН-4-35 і сівалкою СЗ-3,6.

В модернізованій конструкції начіпної системи (Рис. 2.1) між начіпною рамкою трактора та начіпною рамкою знаряддя, що охоплюються, розміщена прокладка з пружного матеріалу – поліуретану 1. Прокладка 1 встановлена на зовнішніх поверхнях швелера 2, що охоплюються. Для збереження якісних показників пружного матеріалу прокладки, в першу чергу, для запобігання задирання в момент зчеплення трактора з агрегатом, до неї зверху прикріплені металеві пластини 3.

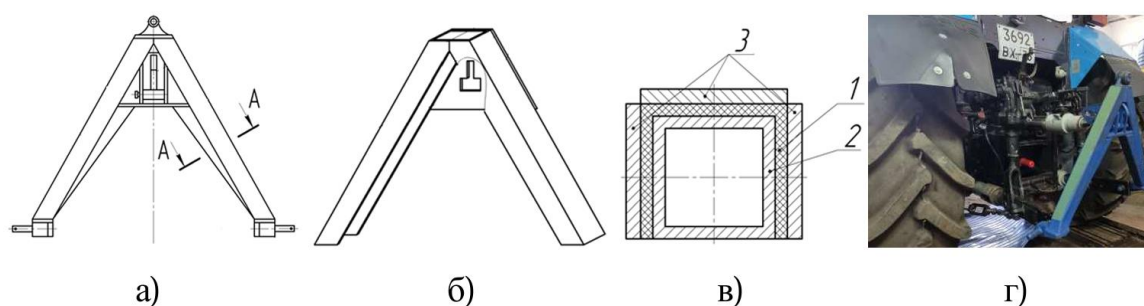


Рисунок 2.1 – Удосконалена конструкція задньої навісної системи трактора МТЗ 1221.2:

- а – рамка начіпної системи, що охоплюється; б – рамка начіпної системи, що охоплює; в – переріз А–А рамки начіпної системи, що охоплюється;
г – загальний вигляд начіпної системи на тракторі.

На базі запропонованого удосконаленого технічного рішення порівняно простого за конструктивним виконанням у вигляді пружної прокладки з поліуретану, як додаток до начіпної системи трактора МТЗ 1221.2 були здійснені

дослідження, що характеризують основні показники роботи агрегату.

2.2. Вплив жорсткості націпної системи на поворотність машино-тракторного агрегату.

Різні види еластомерів на основі композитних та полімерних матеріалів широко застосовуються в техніці для гасіння коливань і зниження рівня зовнішнього динамічного впливу на деталі та вузли, а також – між ними. Застосування пружних елементів обмежується в більшості випадків конструктивними особливостями об'єкта захисту, тому що вписати додатковий вузол або навіть деталь у конструкцію агрегату не дозволяє обмежений простір.

Виходячи з поставленої задачі підбору форми, розмірів, виду, типу, пружного елемента і схеми навантаження охоплюваної націпної рамки (трикутника) автозчеплення трактора 1 (Рис. 1.1) у площині, перпендикулярній його боковій поверхні, величина сумарного навантаження, що діє на неї визначається за наступною формулою (Рис. 2.2) [9]:

$$F_H = F_{iH} + G_H, \quad (2.1)$$

де F_{iH} – складова сили інерції, що припадає на бокову поверхню трикутника автозчеплення, Н; G_H – складова сили тяжіння, що діє на бокову поверхню трикутника автозчеплення, Н.

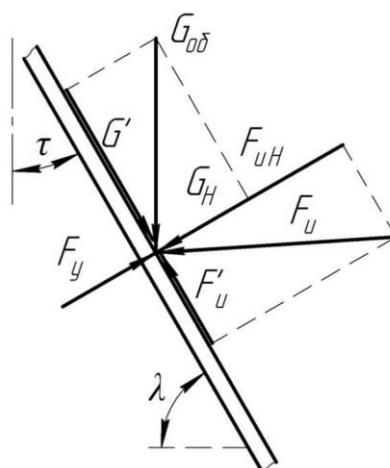


Рисунок 2.2 – Схема сил, що діють на бокову поверхню трикутника автозчеплення

Розрахунок сили F_{in} (2.1) проводимо за формулою:

$$F_{in} = F_i \cos \tau, \quad (2.2)$$

де τ – половина кута вершини трикутника автозчеплення, град.; F_i – відцентрова сила інерції, що діє на навішування трактора, Н [9].

$$F_i = m_{об} a, \quad (2.3)$$

де $m_{об}$ – маса начіпного обладнання, кг; a – бічне прискорення МТА, м/с².

Силу тяжіння G_n залежно (2.1) знаходимо з виразу:

$$G_n = G_{об} \cos \lambda = m_{об} g \cos \lambda, \quad (2.4)$$

де $G_{об}$ – сила тяжіння обладнання, Н; g – прискорення вільного падіння, м/с²; λ – кут між боковою поверхнею та основою трикутника автозчеплення, град.

З врахуванням (2.1), (2.2), (2.3) та (2.4) отримано вираз для визначення сили, що діє на бокову поверхню трикутника автозчеплення:

$$F_n = m_{об} (a \cos \tau + g \cos \lambda). \quad (2.5)$$

Виходячи з виду та геометричних параметрів бокової поверхні трикутника, приймаємо рішення про можливість встановлення на ній пружного елемента у формі паралелепіпеда з такими розмірами: довжина a , ширина b , висота h .

Оскільки дослідження з визначення фізико-механічних властивостей виробів з еластомерів проведено, здебільшого, для зразків циліндричної форми h [1], то розіб'ємо паралелепіпед на $n=a/b$ фігур циліндричної форми радіусом r і висотою h .

Відповідно до (2.5) питома сила, що діє на один циліндр радіусом r і висотою h визначається за формулою:

$$F_0 = \frac{F_n}{n}. \quad (2.6)$$

Відповідно до раніше озвученої гіпотези про позитивний вплив на рівень динамічного навантаження з боку начіпного обладнання на трактор та умови кочення рушіїв пружного зв'язку між ними, виконаний аналіз фізико-механічних властивостей еластомерів з метою вибору матеріалу для встановлення в з'єднання між трактором та начіпним обладнанням.

Найбільш поширеним матеріалом, що застосовується в конструкціях різної техніки для гасіння вібрацій та зменшення коливань, зниження їх рівня, є гума. Незважаючи на те, що гумові вироби володіють досить високими еластичними властивостями, у них є ряд серйозних недоліків, серед яких варто відзначити схильність до старіння, відносно низька зносостійкість, схильність до руйнування під впливом сонячних променів та перепадів температур [8].

Альтернативою гумі є поліуретан [8], який має ряд переваг і є найкращим матеріалом для виготовлення еластичної прокладки, що обумовлено його фізичними та механічними властивостями, серед яких особливо варто виділити такі [1]:

1. Висока абразивна стійкість.
2. Здатність протистояти досить високим навантаженням.
3. Широкий діапазон твердості.
4. Висока стійкість до поширення надрізів.
5. Висока стійкість до атмосферних впливів, таких як волога, ультрафіолетова радіація, нагрівання.
6. Низький коефіцієнт тертя.
7. Тривале збереження робочих розмірів.
8. Можливість практично всіх видів механічного обробітку.

Всі ці переваги показують, що поліуретан є дуже хорошим матеріалом для використання в якості еластомеру модернізованої конструкції начіпної системи трактора. Застосування цього матеріалу забезпечує необхідну надійність і довговічність деталей навіть під постійною дією статичних і динамічних навантажень [8].

Згідно [1] осадку одного циліндричного елемента з поліуретану радіусом r і висотою h можна отримати з наступного виразу:

$$\delta = \frac{F_0 \cdot h}{E \cdot S(0,73 + 0,46 \cdot \gamma^2)}, \quad (2.7)$$

де E – модуль пружності поліуретану при стисканні, МПа; S – площа поперечного перерізу, мм²; γ – безрозмірний коефіцієнт, що характеризує відношення радіусу r циліндра до його висоти h .

$$\gamma = \frac{r}{h}.$$

З врахуванням (2.6) та (2.7) жорсткість передбачуваного пружного елемента дорівнює:

$$C = \frac{F_0}{\delta}.$$

Таким чином, величину сили інерції, яку може компенсувати сила пружності елемента з поліуретану, вбудованого в конструкцію навішування на боковій поверхні трикутника автозчеплення, визначимо по формулі:

$$F_{\text{ін}} = F_y = C\delta.$$

Виходячи з проведеного аналізу та конструктивних міркувань, обрані геометричні параметри пружного елемента, виготовленого з поліуретану, вбудованого в конструкцію навішної системи трактора такі: довжина $a=600$ мм, ширина $b=80$ мм, висота $h=10$ мм.

Основний параметр, що впливає на поглинаючу здатність обраного еластомеру – це його висота h . Проте, її збільшення з метою більшої компенсації сили інерції неможливе через відсутність необхідного простору між трикутником і рамкою, що охоплює. Для еластичного елемента з поліуретану, встановленого на бокову поверхню трикутника автозчеплення із заданими геометричними параметрами, частка поглиненої сили інерції склала 61,5 %, що є досить високим показником і дозволяє використовувати даний матеріал у конструкції навішної системи трактора для підвищення стійкості руху та покращення керованості.

2.3. Результати дослідження поворотності машино-тракторного агрегату з удосконаленою задньою начіпною системою.

При виконанні основної технологічної операції, рухаючись по прямій, трактор не може миттєво перейти до криволінійного руху та здійснити поворот по мінімально можливому радіусу через бокове відведення та буксування рушіїв на деформованій та пухкій опорній основі. При цьому існує висока ймовірність виникнення бульдозерного ефекту, при якому відбувається інтенсивне буксування і навіть занесення МТА.

Найбільш кінематично складними і динамічно навантаженими в процесі криволінійного руху на поворотній смузі є ділянки «вхід у поворот» і «поворот, що встановився» [6]. Тому, саме ці етапи обрані для експериментальних досліджень з метою визначення необхідних параметрів для оцінки впливу начіпного обладнання, що знаходиться в транспортному положенні, на поворотність МТА при скоєнні кругового безпетлевого повороту. Основними характеристиками для порівняння дослідних результатів обрані граничні (максимальні) значення абсциси $x_{\max}$ та ординати $y_{\max}$ кривої траєкторії, описаною кінематичним центром трактора на поворотній смузі.

При проведенні досліджень прийнято, що перехід від траєкторії великої кривизни до прямолінійного руху («вихід з повороту») відбувається за того ж закону, що при переході від прямолінійного руху до ділянки встановленого повороту («вхід у поворот»). Тому, за основу прийнято одну, в нашому випадку також ліву частину кругового безпетлевого повороту.

На рисунках 2.3-2.6 наведено графіки залежностей $x_{\max}$ та $y_{\max}$ від швидкості поступального руху v одиночного трактора, МТА з базовою та модернізованою начіпними системами у складі трактора МТЗ 1221.2 [11] та сівалки СЗ-3,6 при різних кутових швидкостях повороту ω керованих коліс при круговому безпетльовому повороті.

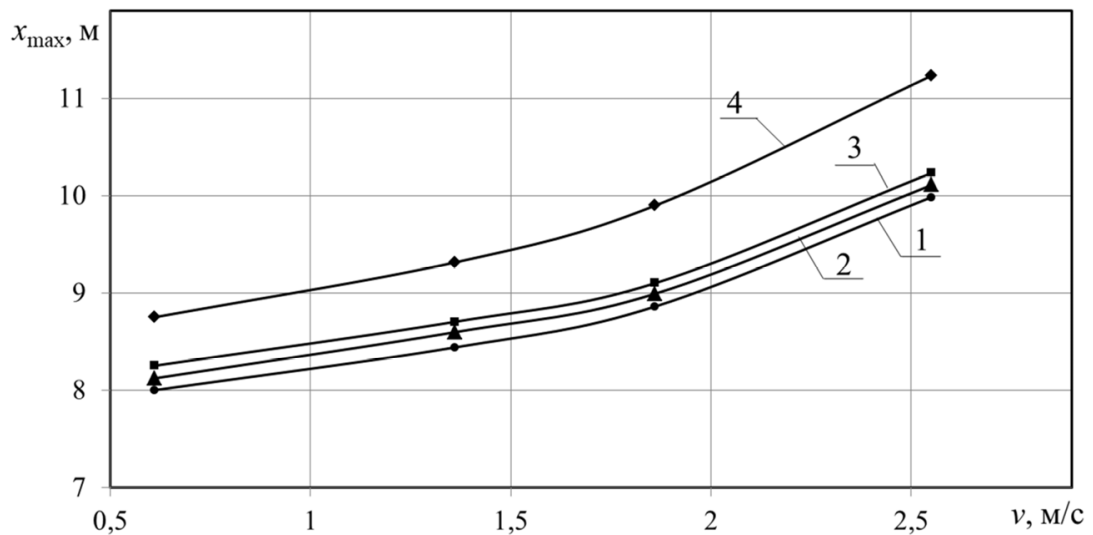


Рисунок 2.3 – Графіки залежності абсциси $x_{\max}$ від поступальної швидкості руху v при $\omega=0,155 \text{ c}^{-1}$:

- 1 – теоретична траєкторія руху трактора;
- 2 – дійсна траєкторія руху трактора;
- 3 – дійсна траєкторії руху МТА (дослідна начіпка);
- 4 – дійсна траєкторія руху МТА (базова начіпка).

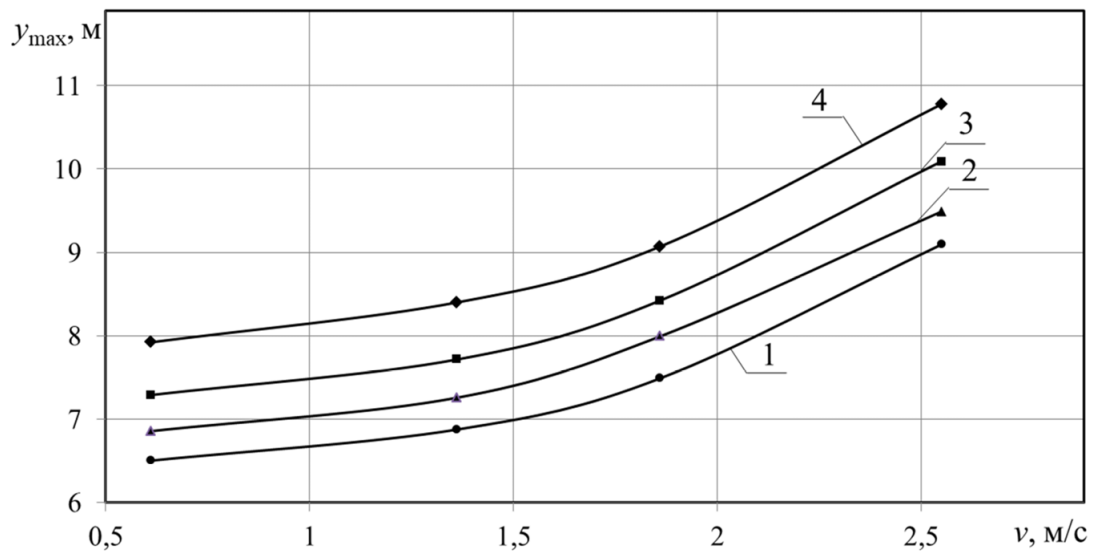


Рисунок 2.4 – Графіки залежності абсциси $y_{\max}$ від поступальної швидкості руху v при $\omega=0,155 \text{ c}^{-1}$:

- 1 – теоретична траєкторія руху трактора;
- 2 – дійсна траєкторія руху трактора;
- 3 – дійсна траєкторія руху МТА (дослідна начіпка);
- 4 – дійсна траєкторія руху МТА (базова начіпка).

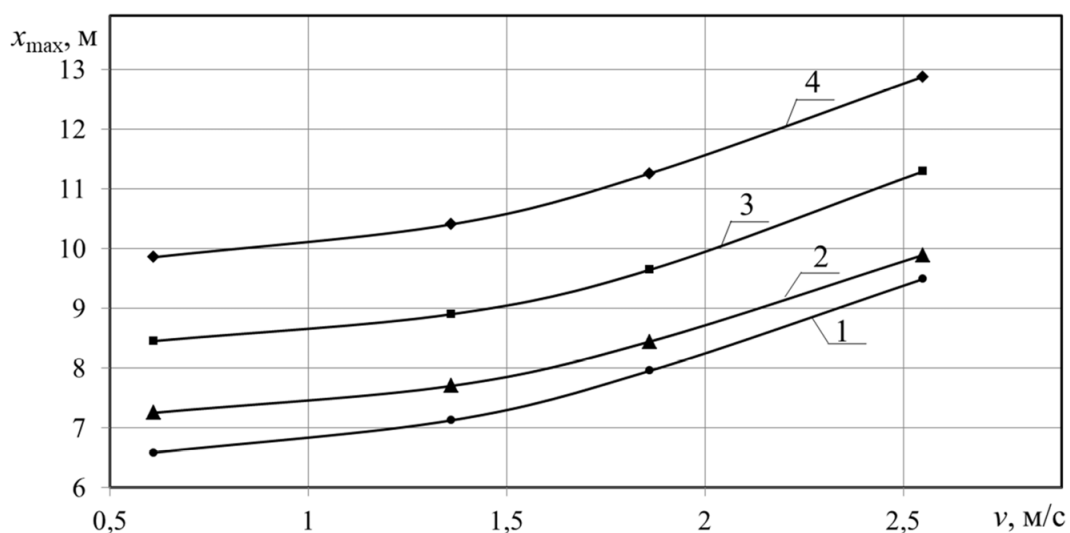


Рисунок 2.5 – Графіки залежності абсциси $x_{\max}$ від поступальної швидкості руху v при $\omega=0,31 \text{ c}^{-1}$:

- 1 – теоретична траєкторія руху трактора;
- 2 – дійсна траєкторія руху трактора;
- 3 – дійсна траєкторії руху МТА (дослідна начіпка);
- 4 – дійсна траєкторія руху МТА (базова начіпка).

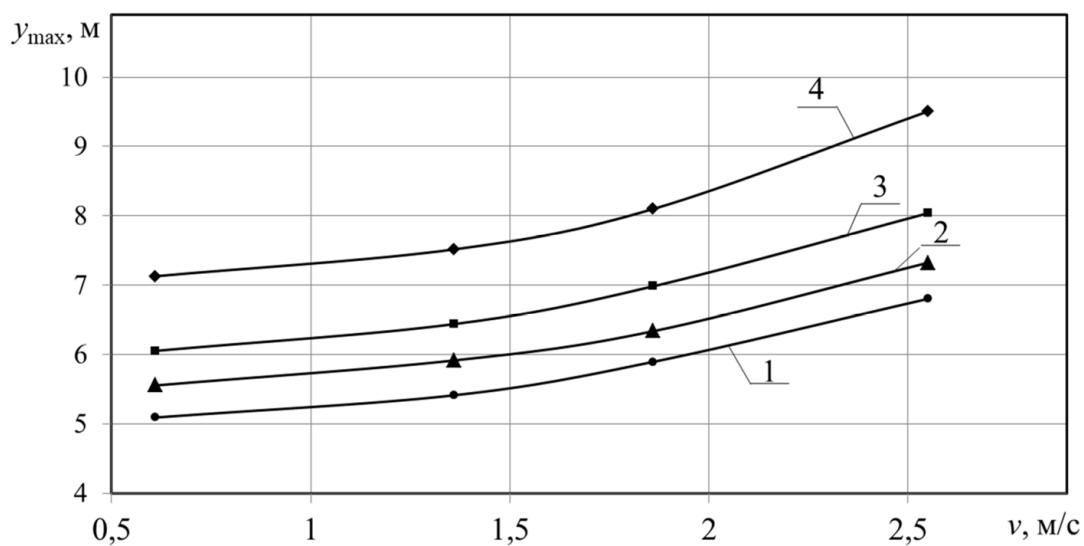


Рисунок 2.6 – Графіки залежності абсциси $y_{\max}$ від поступальної швидкості руху v при $\omega=0,31 \text{ c}^{-1}$:

- 1 – теоретична траєкторія руху трактора;
- 2 – дійсна траєкторія руху трактора;
- 3 – дійсна траєкторії руху МТА (дослідна начіпка);
- 4 – дійсна траєкторія руху МТА (базова начіпка).

Результати дослідів показали, що при постійній кутовій швидкості повороту керованих коліс та збільшення поступальної швидкості руху МТА, зростають граничні значення абсциси $x_{\max}$ та ординати $y_{\max}$ траєкторії кінематичного центру агрегату (Рис. 2.3-2.6).

Так, за швидкості поступального руху одиночного трактора $v=0,61$ м/с та швидкості повороту керованих коліс $\omega=0,155$ с⁻¹ граничні дослідні координати дійсної траєкторії руху кінематичного центру дорівнюють: $x_{\max}=8,12$ м та $y_{\max}=6,85$ м. Для теоретичної траєкторії при тих же ω і v отримані розрахунками $x_{\max}=8,01$ м та $y_{\max}=6,54$ м. Експериментальні та теоретичні значення шуканих параметрів при збільшенні v до 2,556 м/с при цьому відповідно дорівнюють: $x_{\max}=10,1$ м та $y_{\max}=9,49$ м; $x_{\max}=9,98$ м та $y_{\max}=9,09$ м. Таким чином, зі збільшенням поступальної швидкості руху v з 0,61 м/с до 2,556 м/с гранична абсциса $x_{\max}$ та гранична ордината $y_{\max}$ дійсної траєкторії руху одиночного трактора збільшилася відповідно на 1,98 м та 2,64 м, а для теоретичної траєкторії збільшення склало 1,84 м і 2,55 м. Середнє збільшення граничних значень абсциси та ординати при цьому становило близько 23 %.

Порівняння граничних значень $x_{\max}$ (Рис. 2.3, крива 1) та $y_{\max}$ (Рис 2.4, крива 1) теоретичної траєкторії руху з тими ж параметрами дійсної траєкторії руху одиночного трактора (Рис. 2.3, крива 2, Рис. 2.4, крива 2) при кутовій швидкості повороту керованих коліс $\omega=0,155$ с⁻¹ показало, що розбіжність між ними становить відповідно 0,1...0,16 м або 1,22...1,82 % і 0,31...0,5 м або 4,17...6,3 %.

При $\omega=0,31$ с⁻¹ максимальні відхилення дійсної траєкторії руху від теоретичної збільшуються до 0,4...0,67 м (4...9,2 %) – по осі x і 0,44...0,52 м (6,97...8,49 %) – по осі y , що підтверджує припущення про вплив начіпного обладнання на поворотність МТА та необхідне проведення відповідних досліджень.

При збільшенні швидкості поступального руху v МТА з базовою начіпною системою у складі трактора МТЗ 1221.2 та сівалки СЗ-3,6 (Рис. 2.3-2.6, криві 4) з 0,61 м/с до 2,556 м/с при всіх реалізованих кутових швидкостях повороту керованих коліс ω граничні значення дійсних траєкторій $x_{\max}$ і $y_{\max}$ зростають так

само, як і у випадку з дійсною та теоретичною траєкторією руху окремого трактора в середньому на 23%.

З порівняння залежностей $x_{\max}$ і $y_{\max}$ дійсних траєкторій кінематичного центру від поступальної швидкості руху v МТА з базовою начіпною системою у складі трактора МТЗ 1221.2 та сівалки СЗ-3,6 (Рис. 2.3, крива 4, Рис. 2.4, крива 4) з тими ж параметрами, що і для одиночного трактора (Рис. 2.3, крива 2, Рис. 2.4, крива 2), при кутовій швидкості повороту керованих коліс $\omega=0,155 \text{ c}^{-1}$ видно, що відбувається ріст у всьому діапазоні збільшення v , як поздовжніх $\Delta x_{\max}$ на 0,63...1,12 м (7,18...10 %) відхилень, так і поперечних $\Delta y_{\max}$ на 1,07...1,28 м (11,89...13,62 %) начіпного агрегату в порівнянні з одиночним трактором. При збільшенні кутової швидкості повороту керованих коліс до $\omega=0,31 \text{ c}^{-1}$ значення відхилень зростають відповідно до $\Delta x_{\max}=2,6...2,9 \text{ м}$ (23,17...26,4 %) (Рис. 2.5, крива 2, крива 4) та $\Delta y_{\max}=1,57...2,18 \text{ м}$ (21,31... 22,96%) (Рис. 2.6, крива 2, крива 4).

Таким чином, зменшення часу маневру входу в поворот приводить до збільшення приблизно в 3 рази абсциси повороту, і ординати – в 1,4 рази.

Для того, щоб трактор перейшов від прямолінійної траєкторії до траєкторії великої кривизни при вході в поворот на керованих колесах повинні виникнути бокові реакції з боку ґрунту, необхідний вплив яких обумовлено, у тому числі і кутовою швидкістю повороту керованих коліс, при збільшенні якої відбувається інтенсивніше їх буксування в напрямку поздовжньої осі трактора. При меншій кутовій швидкості відбувається поступове збільшення бокових реакцій в міру росту кута повороту керованих коліс і менш інтенсивне їх пробуксовування, чим можна пояснити зменшення при цьому відхилення від необхідної траєкторії руху. При різкому погіршенні ґрунтових умов збільшується коефіцієнт опору коченню f і зменшується коефіцієнт зчеплення коліс з ґрунтом, отже, зменшується допустимий кут повороту керованих коліс, при якому можливе їх обертання.

Порівняння величин дійсних максимальних абсцис та ординат траєкторії руху МТА з базовою начіпною системою з їх теоретичними значеннями показало, що за кутової швидкості повороту керованих коліс $\omega=0,155 \text{ c}^{-1}$ збільшення $\Delta x_{\max}$

становило $0,7...1,25$ м ($8,41...11,11$ %) (Рис. 2.3, крива 1, крива 4), а $\Delta y_{\max} - 1,38...1,69$ м ($15,62...18,16$ %) (Рис. 2.4, крива 1, крива 4); при $\omega=0,31$ с⁻¹ – $\Delta x_{\max}=3,27 ... 3,38$ м ($26,3... 33,17\%$) (Рис. 2.5, крива 1, крива 4), – $\Delta y_{\max}=2,04 ... 2,7$ м ($27,26...28,58\%$) (Рис. 2.6, крива 1, крива 4).

Аналізуючи сказане вище, можна стверджувати, що заднє начіпне обладнання надає значний вплив на процес криволінійного руху МТА. Як із збільшенням швидкості поступального руху v , так і кутової швидкості повороту керованих коліс ω зростають відхилення від теоретичної траєкторії руху (Рис. 2.3-2.6). Це пов'язано з тим, що зростають вертикальні коливання остова трактора, ударні навантаження та інерційні зусилля з боку начіпного обладнання, відбувається більш інтенсивне бокове буксування коліс. Ці фактори негативно впливають на поворотність МТА, сприяють буксуванню коліс, погіршенню або навіть втрати керованості та стійкості.

Завдяки еластичним властивостям пружного елемента, вписаного в модернізовану начіпну систему трактора, вдалося знизити вплив інерційних сил з боку начіпного обладнання на процес криволінійного руху агрегату. Експериментально виявлено, що для МТА з дослідною начіпною системою у складі трактора МТЗ 1221.2 та сівалки СЗ-3,6 так само, як і у всіх раніше розглянутих випадках із збільшенням поступальної швидкості руху v відбувається зростання максимальних значень абсцис та ординат дійсних траєкторій повороту в межах $21...24$ % (Рис. 2.3-2.6, криві 3). При зміні поступальної швидкості зростання руху v з $0,61$ м/с до $2,556$ м/с та постійної кутової швидкості повороту керованих коліс $\omega=0,155$ с⁻¹ відбувається зменшення граничних значень абсциси та ординати траєкторії кінематичного центру МТА з модернізованою начіпною системою відповідно на $\Delta x_{\max}=0,5...0,99$ м ($5,7...8,79$ %) (Рис. 2.3, крива 3, крива 4) та $\Delta y_{\max}=0,63...0,69$ м ($6,36...8,16$ %) (Рис. 2.4, крива 3, крива 4) порівняно з МТА з базовою начіпною системою. У тому самому діапазоні зміни швидкостей v та значенні $\omega=0,31$ с⁻¹ зменшення становило: $\Delta x_{\max}=1,4...1,61$ м ($12,3...14,45$ %) (Рис. 2.5, крива 3, крива 4), $\Delta y_{\max}=1,08...1,47$ м ($13,77...15,45\%$) (Рис. 2.6, крива 3, крива 4).

Порівняння значень дійсних максимальних абсцис та ординат траєкторії руху МТА з модернізованою начіпною системою та теоретичних значень цих параметрів показало, що за кутової швидкості повороту керованих коліс $\omega=0,155 \text{ c}^{-1}$ збільшення $\Delta x_{\max}$ становило $0,24 \dots 0,26 \text{ м}$ ($2,4 \dots 3 \%$) (Рис. 2.3, крива 1, крива 3), а $\Delta y_{\max} - 0,75 \dots 1 \text{ м}$ ($9,98 \dots 11,09\%$) (Рис. 2.4, крива 1, крива 3). При збільшенні кутової швидкості керованих коліс до $\omega=0,31 \text{ c}^{-1}$ отримано відповідно: $\Delta x_{\max}=1,69 \dots 1,87 \text{ м}$ ($15,96 \dots 22,08\%$) (Рис. 2.5, крива 1, крива 3), $\Delta y_{\max}=0,97 \dots 1,23 \text{ м}$ ($15,37 \dots 15,94\%$) (Рис. 2.6, крива 1, крива 3).

Результати експериментальних досліджень підтвердили доцільність застосування модернізованої начіпної системи, оскільки вона сприяє зниженню інерційних навантажень, що передаються від начіпного обладнання трактору через начіпну систему та зменшення абсциси й ординати повороту, що дозволяє скоротити ширину та висоту поворотної смуги, а отже, і її площу.

Висновки по розділу

Таким чином, в розділі експериментальних досліджень наведено конструкційну схему удосконаленої начіпної системи трактора та визначено вплив її жорсткості на поворотність машино-тракторного агрегату.

Також здійсненні дослідження щодо поворотності машино-тракторного агрегату з удосконаленою задньою начіпною системою. В результаті яких визначено, що модернізована начіпна система є доцільною у використанні, оскільки вона сприяє зниженню інерційних навантажень, що передаються від начіпного обладнання трактору через начіпну систему та зменшує висоту поворотної смуги і відповідно її площу.

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1. Організація охорони праці в сільськогосподарському виробництві.

Організація охорони праці в сільському господарстві базується на Правилах № 1240, затверджених у 2018 році [4], і спрямована на створення безпечних умов праці, запобігання травматизму при роботі з технікою, тваринами та хімікатами. Роботодавець зобов'язаний створити службу охорони праці (якщо більше 50 працівників) або призначити відповідальних, провести навчання та інструктажі.

Основні компоненти організації охорони праці:

- Ключовим документом є Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві, що поширюються на всіх роботодавців, які займаються аграрною діяльністю.

- Згідно зі статтею 13 Закону «Про охорону праці» [4], за стан охорони праці відповідає безпосередньо керівник підприємства, який забезпечує створення та функціонування системи управління охороною праці.

- Служба охорони праці створюється при чисельності понад 50 осіб. Якщо менше 50, функції можуть виконувати особи за сумісництвом, що мають відповідну підготовку.

Організаційні заходи з охорони праці:

- проведення інструктажів (вступний, первинний, повторний) та навчання;
- забезпечення працівників засобами індивідуального захисту;
- підбір персоналу відповідної кваліфікації;
- проведення медичних оглядів.

Безпека виробничих процесів включає безпеку при роботі з технікою, технічне обслуговування, безпечну експлуатацію будівель, а також особливі заходи при роботі з пестицидами та добривами.

Основні причини виробничого травматизму в галузі пов'язані з недотриманням техніки безпеки при роботі з машино-тракторними агрегатами та низькою технологічною дисципліною.

3.2. Заходи з охорони праці під час роботи з машино-тракторними агрегатами.

Охорона праці при роботі з машинно-тракторними агрегатами (МТА) передбачає обов'язковий інструктаж, справність техніки, використання захисних кожухів, заборону обслуговування під час руху та роботи лише в спецодязі. Основні заходи включають контроль справності гальм, керма, гідравліки, надійне зчеплення машин та заборону перебування людей між трактором і агрегатами.

1. Заходи перед початком роботи з агрегатами:

- проведення інструктажів – механізатори повинні пройти інструктаж з техніки безпеки та розписатися в журналі;
- проведення технічних оглядів – механізатор має перевірити справність трактора та навісної/причіпної машини (кермове управління, гальма, гідравлічна система, електрообладнання);
- усі обертові елементи (вали, паси, ланцюги) мають бути закриті захисними кожухами;
- технологічне налагодження проводити на спеціальних регулювальних майданчиках.

2. Заходи безпеки під час роботи з агрегатами:

- забороняється запуск двигуна при ввімкненій передачі (має працювати блокування);
- заборонено переходити з трактора на причіпні машини під час руху;
- не можна сидіти на крилах, підніжках або причіпних приладах;
- круті повороти на косогорах заборонені;
- навішування необхідно виконувати удвох, зчіплювач не повинен стояти між трактором, що рухається назад, і машиною;
- заборонено очищати робочі органи (борони, плуги) під час руху агрегату;
- регулювання, змащування, очищення агрегату проводити тільки після зупинки двигуна та опускання начіпних машин на землю.

3. Заходи після закінчення роботи з агрегатами:

- необхідно поставити трактор у відведене місце;
- опустити націпні машини на підставки або землю;
- закрити кран паливного бака, вимкнути масу;
- здати трактор та повідомити про несправності, якщо вони є.

Заборонені дії під час роботи з машино-тракторними агрегатами:

- експлуатація техніки з несправною системою блокування запуску двигуна;
- робота на несправній техніці;
- передача керування стороннім особам.

Дотримання цих правил регулюється Законом України «Про охорону праці» [4].

Висновки по розділу

Таким чином, в розділі охорони праці представлені заходи з охорони праці при роботі з машино-тракторними агрегатами, що регулюються Законом України «Про охорону праці». Головною вимогою при виконанні робіт необхідне дотримання даних заходів та правил з техніки безпеки з експлуатації сільськогосподарської техніки, що допомагає уникнути виробничих травм.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЕКТУ

Для оцінки ефективності застосування дослідної начіпної системи на тракторі МТЗ 1221.2 ставилося завдання визначення зниження витрат палива за рахунок зменшення довжини траєкторії руху МТА на поворотній смузі та підвищення продуктивності через скорочення часу, необхідного для виконання технологічної операції.

Розрахунок економічної ефективності виконано на основі результатів досліджень відповідно до відомих методичних рекомендацій [10], зіставленням витрат від використання МТА виду МТЗ 1221.2+СЗ-3,6 з модернізованою та базовою начіпними системами.

В результаті аналізу експериментальних даних було встановлено, що при експлуатації дослідної начіпної системи довжина траєкторії руху МТА зменшується, а продуктивність збільшується в середньому на 2 %.

Вихідна інформація для розрахунку економічної ефективності застосування модернізованої начіпної системи наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані та нормативні показники

Показники	Трактор з базовою начіпною системою	Трактор з модернізованою начіпною системою
Площа поля, га	50	50
Зменшення довжини поворотної смуги, %	-	9,5
Норма виробітку, га/год.	2,5	2,55
Марка машини	МТЗ 1221.2	МТЗ 1221.2
Норма амортизації, %	9,1	9,1
Норма відрахувань на ремонт, ТО, заміну шин та зберігання, %	9,9	9,9
Комплексна ціна палива, грн./л	60,00	60,00
Середньорічне завантаження трактора, год.	1520	1520

Економію експлуатаційних витрат визначено за формулою:

$$E_{ев} = 3 + П + P_m + A_m, \quad (4.1)$$

де 3 – оплата праці обслуговуючого персоналу, грн.; П – вартість паливо-мастильних матеріалів (ПММ), грн.; P_m – відрахування на технічне обслуговування, поточний та капітальний ремонт, заміну шин та зберігання, грн.; A_m – амортизаційні відрахування, грн.

За результатами розрахунків визначено, що експлуатація МТА у складі МТЗ 1221.2+СЗ-3,6 з дослідною начіпною системою дозволить знизити витрати на паливо на 116 грн. при сівбі поля площею 50 га.

Витрати на всі види технічного обслуговування, поточний та капітальний ремонт, заміну шин та зберігання визначено за формулою:

$$P_m = \frac{Б_v \cdot NP}{100}, \quad (4.2)$$

де $Б_v$ – балансова вартість машини, грн.; NP – норма відрахувань на ТО, ремонт, заміну шин, зберігання машини (у відсотках до балансової вартості машини).

Амортизаційні відрахування дорівнюють:

$$A_m = \frac{Б_v \cdot NA}{100}, \quad (4.3)$$

де NA – річна норма амортизації у відсотках від балансової вартості машини.

Економія експлуатаційних витрат протягом року оцінюється за такою формулою:

$$E_{вp} = \left(\frac{B_{p1}}{Q_{p1}} - \frac{B_{p2}}{Q_{p2}} \right) \times Q_{p2}, \quad (4.4)$$

де Q_{p1} , Q_{p2} – обсяг робіт відповідно за серійним та дослідним варіантами.

За термін експлуатації проекту з врахуванням дисконтування отримано економічний ефект:

$$P_r = E_u \times \frac{(1 + NS)^T - 1}{NS}, \quad (4.5)$$

де NS – коефіцієнт, що відображає облікову річну ставку відсотку по кредитах банку або вкладу до банку; T – термін служби трактора, років.

Коефіцієнт ефективності капітальних вкладень визначено за формулою:

$$E_t = \sqrt[t]{\frac{P_t}{C_{y.o.}}} - 1, \quad (4.6)$$

де E_t – річний коефіцієнт ефективності капіталовкладень; P_t – економічний ефект за термін служби об'єкта, грн.; $C_{y.o.}$ – вартість початкової системи, грн.

Термін окупності капіталовкладень визначено з врахуванням дисконтування за формулою:

$$T_{ok} = \frac{-\ln(1 - \frac{C_{y.o.} \times NS}{Eu})}{\ln(1 + NS)}. \quad (4.7)$$

У таблиці 4.2 наведено показники, що характеризують загальні техніко-економічні параметри ефективності застосування модернізованої початкової системи на тракторі МТЗ 1221.2.

Таблиця 4.2 – Показники економічної ефективності

Показники	Трактор з базовою початковою системою	Трактор з модернізованою початковою системою
Балансова вартість трактора МТЗ 1221.2, грн.	4168800	4174152
Інвестиційні вкладення у проект, грн.	-	5352
Вироблення, га/год.	2,5	2,55
Річний економічний ефект, грн.	-	17031
Коефіцієнт ефективності додаткових інвестицій	-	0,68
Термін окупності інвестицій, років	-	0,31

З таблиці 4.2 видно, що застосування модернізованої початкової системи дозволяє отримати річний економічний ефект у розмірі 17031 грн., а термін окупності додаткових інвестицій становить близько 4 місяців.

Висновки по розділу

Таким чином, використання запропонованої конструкції начіпної системи трактора економічно доцільно, оскільки дозволяє отримати річний економічний ефект у розмірі 17031 грн., а термін окупності інвестицій становить 0,31 року, що значно менше за термін служби трактора.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Таким чином, нами були зроблені загальні висновки відносно проведених досліджень в роботі, що наведені нижче.

Визначено, що одним із шляхів зниження динамічного навантаження з боку начіпного обладнання на трактор є введення в конструкцію задньої начіпної системи трактора пружних елементів в місцях з'єднання трактора з агрегатами. Це в свою чергу, дозволить усунути асиметрію передачі вагового навантаження від знаряддя на начіпний пристрій, яка виникає через нещільне прилягання між сполучною рамкою обладнання та трикутником на тракторі, і також дозволить усунути нерівномірний розподіл крутних моментів по колесах.

Результати експериментальних досліджень показали, що застосування модернізованої задньої начіпної системи трактора МТЗ 1221.2 дозволяє наблизити дійсну траєкторію руху МТА до вимогливої. Отримано зменшення граничних значень абсциси на 1,4...1,61 м (12,3...14,45 %) та ординати на 1,08...1,47 м (13,77...15,45 %) поворотної смуги для МТА з модернізованою начіпною системою в порівнянні з базовою. При цьому знижуються величини тягового зусилля начіпного пристрою на 24...27 % та прискорення в базових точках начіпного обладнання – на 51... 59%.

В розділі охорони праці представлені заходи з охорони праці при роботі з машино-тракторними агрегатами, дотримання яких попереджає виникнення виробничого травматизму при роботі із сільськогосподарськими машинами загалом.

Здійснено техніко-економічне обґрунтування модернізованої розробки. В результаті якої визначено, що впровадження запропонованого технічного рішення начіпної системи трактора економічно доцільно, оскільки дозволяє отримати річний економічний ефект у розмірі 17031 грн., термін окупності інвестицій становить близько чотирьох місяців.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Артоболевський І.І. Теорія механізмів і машин. Київ : Наука, 1988. 640 с.
2. Беляєв О.М. та ін. Аналіз бокових реакцій ґрунту на колесах трактора при повороті. *Resources and Technology*. 2022. № 3, Т.19. С. 44–56.
3. Донцов І.Є. Стійкість руху комбінованих МТА з фронтальними та задніми начіпними знаряддями. *Трактори та сільськогосподарські машини*. 2009. № 12. С. 20–22.
4. Закон України «Про охорону праці». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>.
5. Крюков В.І. Машинно-тракторний агрегат на поворотній смузі. *Сільський механізатор*. 2008. № 9. С. 12–13.
6. Полетаєв О.Ф. та ін. Про кінематику криволінійного руху трактора з чотирма ведучими керованими колесами. *Трактори та сільськогосподарські машини*. 1991. № 12. С. 13–16.
7. Пушка О.С., Войтік А.В., Ковальчук Ю.О. Інструктивно-методичні матеріали до виконання дипломних проектів студентами спеціальності 208 «Агроінженерія» першого освітнього рівня (бакалаврського). Умань : УНУС, 2020. 27 с.
8. Сільськогосподарські машини. Електронний підручник. URL: <https://rafk.if.ua/ebook/sgmash/Index.htm>. (Дата звернення: 20.02.2026).
9. Тарасик В.П. Математичне моделювання технічних систем. Київ : Дизайн ПРО, 1997. 640 с.
10. Техніка сільськогосподарська. Методи економічної оцінки. ГОСТ 23728-88, ГОСТ 23730-88.
11. Трактор МТЗ 1221.2. URL: https://alliancetechnika.ua/ua/traktor_belarus_mtz_1221-2. (Дата звернення: 20.01.2026).
12. Itoh H., Oida A., Yamazaki M. Numerical simulation of a 4WD–4WS tractor turning in a rice field. *Journal of Terramechanics*. 1999. V. 36. № 2. P. 91–115.

13. Mammar S., Baghdassarian V.B. Two-degree-of-freedom formulation of vehicle handling improvement by active steering. *Proceedings of the American Control Conference*. 2000. V. 1. P. 105–109.
14. Rodrigues A.O. Evaluation of an active steering system. *Master's degree project*. Sweden, 2004. 41 p.