НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСТИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко – технологічний факультет

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
Тракторів і автомобілів
(назва кафедри)

_____ Калінін Є.І.
(підпис) (ПІБ)

«_____» _____ 2026 р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ БАКАЛАВРА

на тему «Покращення плавності руху трактора

у складі транспортного МТА»

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Гарант освітньої програми

д.т.н., професор _____ Братішко В.В.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Керівник дипломного проєкту бакалавра

к.т.н., доцент _____ Павленко М.Ю.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Виконав _____ Куницький Денис Вікторович
(підпис) (ПІБ)

КИЇВ – 2026

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСТИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
тракторів і автомобілів
д.т.н., проф. _____ **Калінін Є.І.**
(наук. ступ., вч. звання) (підпис) (ПІБ)
«_____» _____2026 р.

З А В Д А Н Н Я

на виконання дипломного проєкту бакалавра студенту Куницькому Денису Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 «Агроінженерія»
(код і назва)

Тема дипломного проєкту бакалавра на тему «Покращення плавності руху трактора у складі транспортного МТА»
затверджена наказом ректора НУБіП України від «16» лютого 2026р. №510 «С»

Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедру: 01.05.2026
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до дипломного проекту бакалавра: характеристики та конструктивні особливості транспортного машинно-тракторного агрегату на базі трактора ХТЗ-17221 з причепом 2ПТС-6 при виконанні внутрішньогосподарських перевезень сільськогосподарських вантажів

Перелік питань які потрібно розробити
Вступ. Аналіз шляхів покращення плавності руху трактора у складі транспортного МТА. Обґрунтування конструктивних параметрів пружно-демпфувального пристрою транспортного МТА. Удосконалення причіпного пристрою трактора ХТЗ-17221. Економічне обґрунтування та охорона праці при експлуатації транспортного МТА. Висновки.

Перелік графічного матеріалу: Загальний вигляд транспортного МТА ХТЗ-17221 + 2ПТС-6. Динамічні навантаження у транспортному МТА. Удосконалення причіпного пристрою транспортного МТА. Розрахункова схема транспортного МТА. Обґрунтування параметрів пружно-демпфувального пристрою. Результати покращення плавності руху. Конструкція пружно-демпфувального причіпного пристрою. Економічна ефективність впровадження.

Дата видачі завдання «23» лютого 2026 р.

Керівник дипломного проєкту бакалавра _____ Павленко М.Ю.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____ Куницький Д.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка дипломного проєкту бакалавра викладена на 76 сторінках, містить 26 рисунків, 8 таблиць, 18 використаних джерел та графічну частину у вигляді презентаційних матеріалів.

Дипломний проєкт складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Тема дипломного проєкту: «Покращення плавності руху трактора у складі транспортного МТА».

Дипломний проєкт присвячений підвищенню плавності руху транспортного машинно-тракторного агрегату на базі трактора ХТЗ-17221 з причепом 2ПТС-6 шляхом удосконалення причіпного пристрою із застосуванням пружно-демпфувального елемента.

Запропонований пружно-демпфувальний причіпний пристрій є технічно працездатним, економічно доцільним та може бути рекомендований до використання в складі транспортних машинно-тракторних агрегатів.

Очікуваним результатом впровадження розробленого пристрою є зменшення динамічних навантажень у зоні зчіпки, покращення плавності руху транспортного агрегату, підвищення комфортності роботи механізатора та зниження негативного впливу ударних навантажень на елементи конструкції.

Ключові слова: транспортний машинно-тракторний агрегат, плавність руху, трактор, причіп, причіпний пристрій.

ЗМІСТ

ВСТУП.....7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ПОКРАЩЕННЯ ПЛАВНОСТІ РУХУ ТРАКТОРА У СКЛАДІ ТРАНСПОРТНОГО МТА 10
1.1 Особливості використання транспортних машинно-тракторних агрегатів в аграрному виробництві 10
1.2 Конструктивно-експлуатаційні особливості трактора ХТЗ-17221 та причепа 2ПТС-6 14
1.3 Фактори, що впливають на плавність руху транспортного МТА 17
1.4 Вплив динамічних навантажень на роботу транспортного МТА 21
1.5 Аналіз конструктивних способів покращення плавності руху транспортних агрегатів 24
1.6. Обґрунтування напряму удосконалення причіпного пристрою транспортного МТА. 27
Висновки до розділу 1. 30
РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРУЖНО-ДЕМПФУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ТРАНСПОРТНОГО МТА.....32
2.1 Обґрунтування розрахункової схеми транспортного машинно-тракторного агрегату 32
2.2 Аналіз динамічних навантажень у причіпному пристрої транспортного МТА 35
2.3 Вибір конструктивної схеми пружно-демпфувального пристрою 38
2.4 Розрахунок параметрів пружного елемента пристрою 42
2.5 Розрахунок демпфувальних характеристик пристрою 45
2.6. Очікуване зменшення коливань і покращення плавності руху транспортного МТА. 48
Висновки до розділу 2. 50
РОЗДІЛ 3 УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПРИЧІПНОГО ПРИСТРОЮ ТРАНСПОРТНОГО МТА 52

3.1 Розроблення конструктивної схеми пружно-демпфувального причіпного пристрою 52
3.2 Конструктивне опрацювання основних елементів пристрою 54
3.3. Опис принципу роботи удосконаленого пристрою 57
3.4. Перевірка міцності найбільш навантажених елементів конструкції 59
Висновки до розділу 3. 61
РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРУЖНО-ДЕМПФУВАЛЬНОГО ПРИЧІПНОГО ПРИСТРОЮ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ 63
4.1 Обґрунтування економічної доцільності та розрахунок витрат на виготовлення пружно-демпфувального причіпного пристрою 63
4.2 Оцінка річного економічного ефекту від використання пружно-демпфувального причіпного пристрою 65
4.3. Заходи з охорони праці при експлуатації транспортного МТА з удосконаленим причіпним пристроєм. 68
4.4. Заходи безпеки та екологічності під час технічного обслуговування причіпного пристрою 70
Висновки до розділу 4 71
ВИСНОВКИ 72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 74
ДОДАТКИ 76

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

МТА – машинно-тракторний агрегат;

ТМТА – транспортний машинно-тракторний агрегат;

ПДП – пружно-демпфувальний пристрій;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння;

ТО – технічне обслуговування;

ПММ – паливно-мастильні матеріали;

ТЗ – транспортний засіб;

ДСТУ – державний стандарт України;

МПа – мегапаскаль;

кВт – кіловат;

к.с. – кінська сила;

кН – кілоньютон;

об/хв – обертів за хвилину;

ВСТУП

Сучасне аграрне виробництво характеризується постійним зростанням обсягів внутрішньогосподарських і міжгосподарських перевезень сільськогосподарських вантажів, що зумовлює підвищення вимог до ефективності використання транспортних машинно-тракторних агрегатів (МТА). Значна частина транспортних операцій у сільському господарстві виконується із застосуванням колісних тракторів у складі причіпних транспортних агрегатів, які використовуються для перевезення зерна, кормів, мінеральних добрив, насіннєвого матеріалу та інших вантажів.

Підвищення продуктивності транспортних МТА значною мірою досягається за рахунок збільшення швидкості руху та інтенсивності експлуатації машинно-тракторного парку. Разом з тим збільшення транспортних швидкостей супроводжується підвищенням динамічних навантажень, що виникають у зоні зчіпки трактора з причепом, зростанням коливань агрегату, погіршенням плавності руху, а також збільшенням навантаження на елементи ходової системи, причіпного пристрою та механізатора. Особливо гостро зазначена проблема проявляється під час руху ґрунтовими й польовими дорогами, де нерівності поверхні спричиняють ударні навантаження та виникнення значних коливальних процесів.

Недостатня плавність руху транспортного МТА негативно впливає на техніко-експлуатаційні показники агрегату, зокрема призводить до зростання динамічних навантажень у вузлах зчіпки, прискореного зношування деталей, зниження надійності транспортного агрегату та погіршення умов праці механізатора. Крім того, виникнення ударних навантажень між трактором і причепом може спричиняти нестійкість руху агрегату та зниження ефективності виконання транспортних операцій.

Одним із перспективних напрямів покращення плавності руху транспортних машинно-тракторних агрегатів є застосування пружно-демпфувальних пристроїв у системі агрегатування трактора з причепом. Використання таких пристроїв дозволяє зменшити амплітуду поздовжніх і

вертикальних коливань, знизити динамічні навантаження, що передаються між ланками агрегату, а також покращити умови праці оператора та підвищити експлуатаційну надійність технічних засобів.

У даному дипломному проєкті як базовий транспортний агрегат прийнято машинно-тракторний агрегат у складі трактора ХТЗ-17221 та причепа 2ПТС-6, що широко використовуються для транспортних робіт у сільськогосподарському виробництві. Вибір зазначеного агрегату обумовлений достатньою потужністю трактора, його поширеністю в аграрному секторі та придатністю до виконання транспортних операцій у різних дорожніх умовах.

Метою дипломного проєкту є покращення плавності руху трактора у складі транспортного машинно-тракторного агрегату на базі ХТЗ-17221 з причепом 2ПТС-6 шляхом удосконалення причіпного пристрою із застосуванням пружно-демпфувального елемента.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:

– проаналізувати фактори, що впливають на плавність руху транспортного машинно-тракторного агрегату;

– виконати аналіз конструктивно-експлуатаційних особливостей трактора ХТЗ-17221 і причепа 2ПТС-6;

– обґрунтувати конструктивні параметри пружно-демпфувального пристрою транспортного МТА;

– розробити конструкцію удосконаленого причіпного пристрою;

– виконати конструктивні та перевірочні розрахунки елементів пристрою;

– оцінити очікуваний вплив запропонованого рішення на плавність руху транспортного агрегату;

– визначити економічну ефективність впровадження конструкції та розробити заходи з охорони праці під час експлуатації транспортного МТА.

Об’єктом проєктування є транспортний машинно-тракторний агрегат на базі трактора ХТЗ-17221 з причепом 2ПТС-6.

Предметом проєктування є процес покращення плавності руху транспортного машинно-тракторного агрегату шляхом удосконалення причіпного пристрою із застосуванням пружно-демпфувального елемента.

Під час виконання дипломного проєкту використано такі методи: аналіз літературних джерел, методи інженерних розрахунків, математичне моделювання навантажень, порівняльний аналіз технічних рішень, методи техніко-економічного оцінювання.

Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості застосування розробленого пружно-демпфувального пристрою у транспортних МТА для зменшення динамічних навантажень у зоні зчіпки, покращення плавності руху агрегату, зниження ударних навантажень на елементи конструкції та підвищення комфортності роботи механізатора.

Пояснювальна записка дипломного проєкту складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. У першому розділі наведено аналіз шляхів покращення плавності руху транспортного МТА, у другому – обґрунтовано конструктивні параметри пружно-демпфувального пристрою, у третьому – розроблено конструкцію удосконаленого причіпного пристрою, у четвертому – виконано економічне обґрунтування та розглянуто питання охорони праці при експлуатації транспортного агрегату.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ПОКРАЩЕННЯ ПЛАВНОСТІ РУХУ ТРАКТОРА У СКЛАДІ ТРАНСПОРТНОГО МТА

Ефективність використання транспортних машинно-тракторних агрегатів у сільськогосподарському виробництві значною мірою залежить від їх технічного стану, конструктивних особливостей та умов експлуатації. Важливим показником роботи транспортного МТА є плавність руху, яка впливає на динамічні навантаження в елементах конструкції, стійкість руху агрегату, комфортність роботи механізатора та техніко-економічні показники виконання транспортних операцій.

Під час виконання транспортних робіт трактори працюють у складних умовах, що характеризуються нерівномірністю дорожнього покриття, змінними навантаженнями та дією динамічних зусиль у зоні агрегатування з причепом. Це особливо характерно для внутрішньогосподарських перевезень, де значна частина маршрутів проходить ґрунтовими та польовими дорогами, що сприяє виникненню вертикальних і поздовжніх коливань транспортного агрегату. У результаті зростають ударні навантаження на вузли причіпного пристрою, збільшується втомлюваність механізатора та знижується довговічність техніки.

Для визначення ефективних шляхів покращення плавності руху транспортного машинно-тракторного агрегату необхідно проаналізувати особливості використання транспортних МТА, конструктивні характеристики базового трактора та причепа, чинники, що впливають на виникнення коливальних процесів, а також існуючі технічні рішення щодо зменшення динамічних навантажень.

1.1 Особливості використання транспортних машинно-тракторних агрегатів в аграрному виробництві

Транспортні машинно-тракторні агрегати (ТМТА) є невід’ємною складовою технологічних процесів сучасного аграрного виробництва та забезпечують виконання значного обсягу внутрішньогосподарських перевезень. За їх допомогою здійснюється транспортування зернових культур, кормів,

органічних і мінеральних добрив, насіннєвого матеріалу, паливно-мастильних матеріалів та інших вантажів. Ефективність роботи транспортних агрегатів безпосередньо впливає на загальну продуктивність сільськогосподарського виробництва, особливо в періоди посівної та збиральної кампаній [1, 11].

Особливістю транспортних робіт у сільському господарстві є їх значна трудомісткість та залежність від дорожніх умов. Частка транспортних операцій у загальному комплексі механізованих робіт може досягати 30–40 %, а в окремі періоди аграрного циклу — перевищувати 50 %. При цьому більшість транспортних перевезень виконується в умовах змінного рельєфу та дорожнього покриття, що суттєво впливає на динаміку руху машинно-тракторного агрегату [3, 6].

У структурі внутрішньогосподарських транспортних перевезень основну частку займає транспортування продукції рослинництва, органічних добрив і технологічних матеріалів (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Орієнтовна структура транспортних операцій у сільському господарстві

Вид транспортних робіт	Частка в загальному обсязі, %
Перевезення зерна	28
Транспортування кормів	18
Перевезення добрив	16
Перевезення насіння	9
Господарські перевезення	14
Інші вантажі	15

Зазначені транспортні операції виконуються переважно машинно-тракторними агрегатами, структура яких наведена на рис. 1.1.

У транспортних МТА трактор виконує функцію енергетичного засобу, забезпечуючи тягове зусилля та стійкість руху агрегату, тоді як причіп використовується для транспортування вантажу.

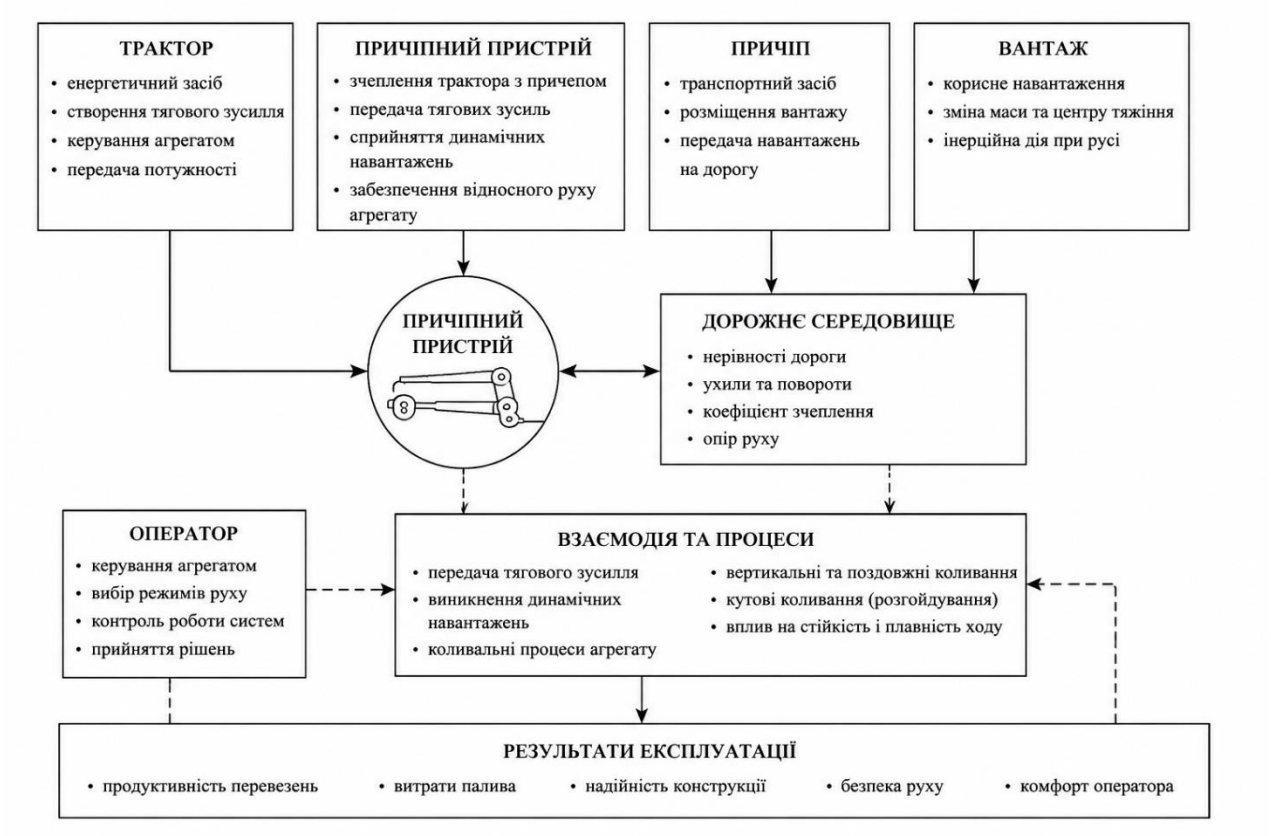


Рисунок 1.1 – Структура транспортного машинно-тракторного агрегату

Під час руху між трактором і причепом виникають поздовжні, вертикальні та кутові коливання, які обумовлюються нерівностями дорожньої поверхні, інерційною дією вантажу та зміною швидкісного режиму [2, 18].

Одним із показників ефективності транспортного агрегату є продуктивність, яку можна визначити за залежністю:

$$W = \frac{Q \cdot v \cdot \varphi}{L}, \tag{1.1}$$

де W – продуктивність транспортного агрегату, т/год; Q – маса вантажу, т; v – середня швидкість руху, км/год; φ – коефіцієнт використання часу зміни; L – довжина транспортного маршруту, км.

Із наведеної залежності видно, що підвищення швидкості руху дозволяє збільшити продуктивність транспортного агрегату. Проте збільшення швидкості супроводжується зростанням динамічних навантажень, особливо під час руху нерівними дорогами, що негативно впливає на плавність руху та довговічність елементів конструкції.

На ефективність роботи транспортного МТА впливає комплекс взаємопов’язаних факторів, які наведено на рис. 1.2.

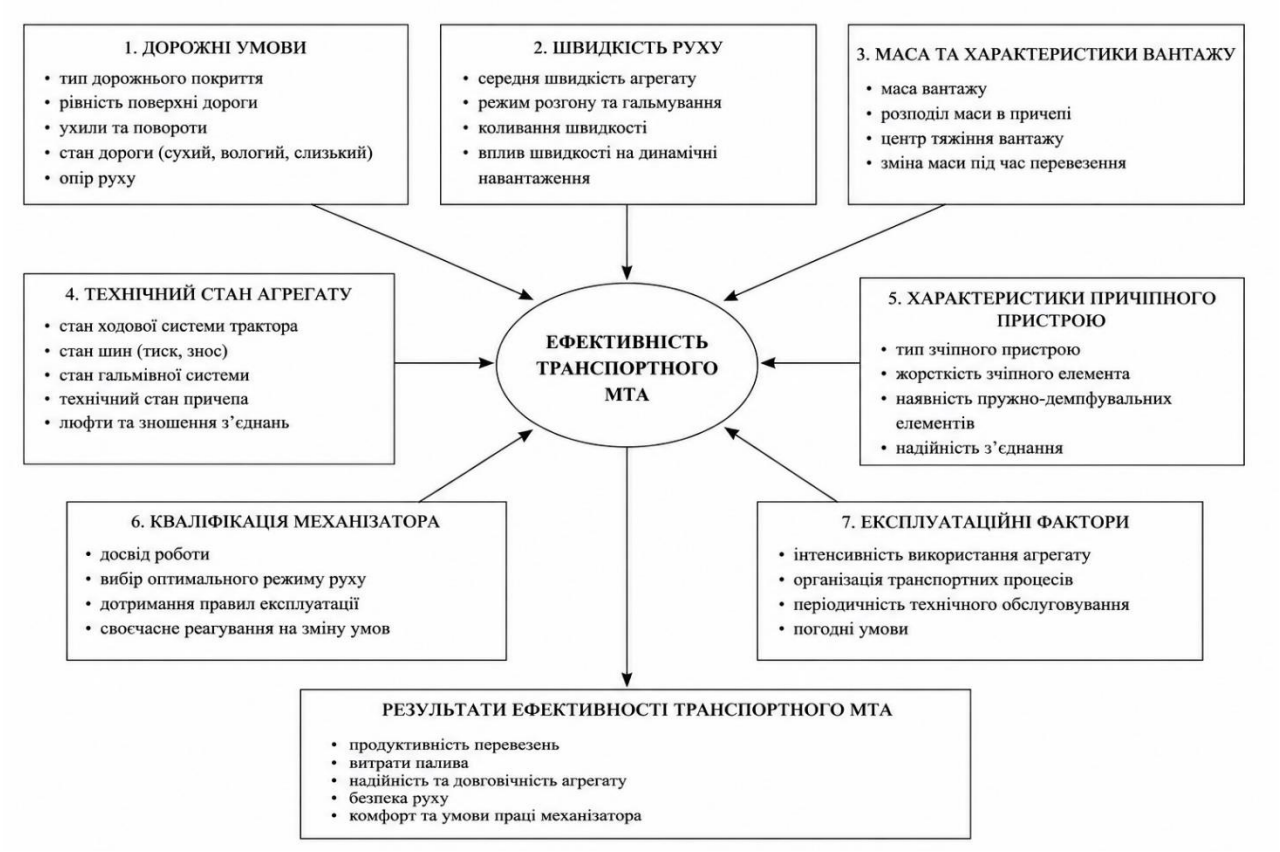


Рисунок 1.2 – Основні чинники, що впливають на ефективність транспортного МТА

Особливо суттєвий вплив на роботу транспортного МТА мають дорожні умови та параметри причіпного пристрою. У процесі руху нерівностями дороги виникають ударні навантаження в зоні зчіпки трактора з причепом, що спричиняє додаткові коливання та погіршення плавності руху. При цьому збільшується навантаження на елементи ходової системи, знижується комфортність роботи механізатора та прискорюється зношування конструктивних елементів агрегату [4, 5].

У даному дипломному проєкті як базовий транспортний агрегат прийнято МТА у складі трактора ХТЗ-17221 та причепа 2ПТС-6, які широко використовуються для виконання транспортних робіт у сільськогосподарському виробництві. Вибір зазначеного агрегату обумовлений достатньою потужністю

трактора, його універсальністю та можливістю експлуатації в умовах польових і ґрунтових доріг [14, 16].

Таким чином, транспортні машинно-тракторні агрегати працюють у складних умовах експлуатації, що характеризуються значною дією динамічних навантажень і коливальних процесів. Це обумовлює необхідність удосконалення конструкції причіпного пристрою з метою покращення плавності руху транспортного агрегату та зменшення навантажень у зоні агрегатування.

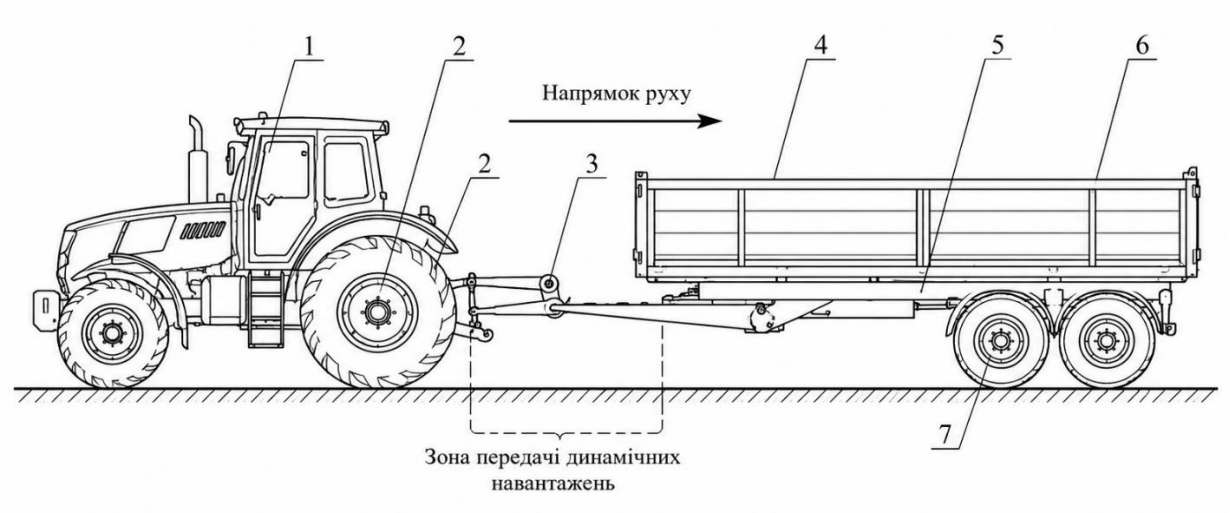
1.2 Конструктивно-експлуатаційні особливості трактора ХТЗ-17221 та причепа 2ПТС-6

Для виконання транспортних робіт у сільськогосподарському виробництві широко використовуються транспортні машинно-тракторні агрегати, сформовані на базі колісних тракторів загального призначення. Одним із таких агрегатів є транспортний МТА у складі трактора ХТЗ-17221 та причепа 2ПТС-6, який характеризується достатніми тягово-швидкісними показниками, універсальністю застосування та можливістю експлуатації в умовах польових, ґрунтових і автомобільних доріг [14, 16].

У даному дипломному проєкті як базовий енергетичний засіб прийнято трактор ХТЗ-17221, який належить до колісних тракторів тягового класу 3 та призначений для виконання транспортних, тягових і технологічних робіт у сільському господарстві. Трактор обладнаний дизельним двигуном підвищеної потужності, повним приводом та має достатній запас тягового зусилля для агрегатування з транспортними причепами середньої та великої вантажопідйомності [14, 15].

Причіп 2ПТС-6 є двовісним тракторним транспортним засобом вантажопідйомністю 6 т, що використовується для перевезення сипучих, штучних і навалочних сільськогосподарських вантажів. Конструкція причепа передбачає можливість експлуатації на різних типах дорожнього покриття, проте при русі нерівними дорогами виникають значні динамічні навантаження, які передаються через причіпний пристрій на трактор [16, 17].

Загальний вигляд транспортного машинно-тракторного агрегату наведено на рис. 1.3.



Умовні позначення:

1 – трактор ХТЗ-17221; 2 – задній міст трактора; 3 – причіпний пристрій; 4 – причіп 2ПТС-6; 5 – ходова система причепа; 6 – вантаж;

Рисунок 1.3 – Схема транспортного МТА на базі трактора ХТЗ-17221 з причепом 2ПТС-6

Як видно з рис. 1.3, найбільш навантаженим елементом транспортного МТА є зона з’єднання трактора з причепом, у якій виникають основні динамічні навантаження під час руху. Характер і величина цих навантажень визначаються сукупністю експлуатаційних, конструктивних і дорожніх факторів, що безпосередньо впливають на плавність руху транспортного агрегату. У зв’язку з цим доцільно розглянути чинники, які найбільше впливають на плавність руху транспортного МТА.

Основні технічні характеристики транспортного агрегату наведено в табл.1.2.

Наявність повного приводу та достатньої потужності двигуна дозволяє трактору ХТЗ-17221 забезпечувати стабільну роботу транспортного МТА навіть за складних дорожніх умов.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики транспортного МТА ХТЗ-17221 + 2ПТС-6

Показник	ХТЗ-17221	2ПТС-6
Тип машини	Колісний трактор	Двовісний причіп
Потужність двигуна, кВт	128,7	–
Колісна формула	4×4	–
Експлуатаційна маса, кг	8600	2300
Вантажопідйомність, кг	–	6000
Повна маса, кг	–	8300
Максимальна транспортна швидкість, км/год	30	30
Тип агрегатування	Причіпне	Причіпне

Разом із тим значна маса причепа з вантажем призводить до виникнення інерційних сил під час розгону, гальмування та подолання нерівностей дорожнього покриття. Унаслідок цього в зоні зчіпки між трактором і причепом виникають змінні динамічні навантаження, які впливають на плавність руху транспортного агрегату.

Одним із важливих показників, що характеризують транспортні можливості агрегату, є коефіцієнт використання вантажопідйомності, який визначається за залежністю:

$$\varphi_в = \frac{Q_ф}{Q_н}, \tag{1.2}$$

де $Q_ф$ – фактична маса вантажу, т; $Q_н$ – номінальна вантажопідйомність причепа,т.

Раціональне використання вантажопідйомності дозволяє підвищити продуктивність транспортного агрегату, однак зі збільшенням маси вантажу зростають інерційні сили, що негативно впливають на плавність руху та рівень динамічних навантажень у причіпному пристрої [1, 18].

Особливістю транспортного агрегату ХТЗ-17221 + 2ПТС-6 є жорстке причіпне з’єднання, яке не забезпечує ефективного гасіння коливань, що

виникають під час руху нерівностями дороги. У результаті динамічні навантаження практично безпосередньо передаються від причепа до трактора, погіршуючи плавність руху, підвищуючи втомлюваність механізатора та прискорюючи зношування елементів конструкції.

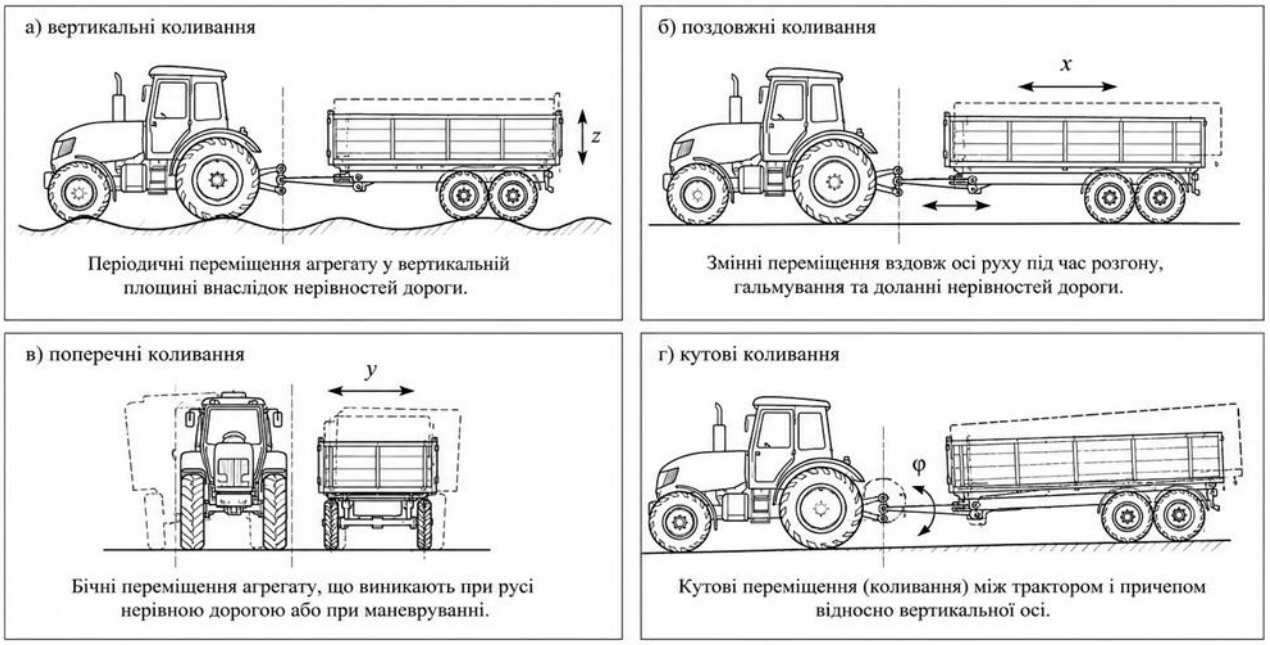
Таким чином, транспортний агрегат на базі трактора ХТЗ-17221 та причепа 2ПТС-6 має достатні експлуатаційні можливості для виконання транспортних робіт, однак особливості його конструкції обумовлюють необхідність зменшення динамічних навантажень у зоні агрегатування. Це свідчить про доцільність удосконалення причіпного пристрою шляхом застосування пружно-демпфувального елемента для покращення плавності руху транспортного МТА.

1.3 Фактори, що впливають на плавність руху транспортного МТА

Плавність руху транспортного машинно-тракторного агрегату є одним із важливих експлуатаційних показників, що характеризує рівень динамічного впливу коливальних процесів на конструктивні елементи агрегату та механізатора. Від плавності руху залежить довговічність вузлів і механізмів транспортного МТА, надійність роботи причіпного пристрою, комфортність праці оператора та ефективність виконання транспортних операцій [1, 3].

Під плавністю руху транспортного агрегату слід розуміти здатність МТА здійснювати рух із мінімальним рівнем коливань і ударних навантажень, що виникають у процесі взаємодії трактора, причепа та дорожнього середовища. Основними джерелами виникнення коливань є нерівності дорожнього покриття, змінні тягові навантаження, інерційні сили вантажу, а також конструктивні особливості зчіпного пристрою [2, 18].

У процесі руху транспортного агрегату виникають декілька типів коливань, які впливають на плавність руху (рис. 1.4).



Умовні позначення:

x – поздовжнє переміщення елементів транспортного МТА, м;

y – поперечне переміщення транспортного агрегату, м; z – вертикальне переміщення елементів транспортного МТА, м; φ – кутове переміщення (кут розгойдування) між трактором і причепом, рад;

Рисунок 1.4 – Основні види коливань транспортного МТА

Вертикальні коливання виникають унаслідок дії нерівностей дорожнього покриття та супроводжуються періодичними переміщеннями трактора і причепа у вертикальній площині. Поздовжні коливання проявляються під час розгону, гальмування та руху нерівностями дороги, коли між трактором і причепом виникають змінні тягові зусилля та ударні навантаження у зоні причіпного пристрою. Поперечні та кутові коливання найбільш інтенсивно проявляються під час руху по нерівному рельєфу або виконання маневрів [4, 5].

На плавність руху транспортного МТА впливає значна кількість факторів, які умовно можна поділити на конструктивні, експлуатаційні та дорожні (рис. 1.5).

Одним із найважливіших експлуатаційних факторів є швидкість руху транспортного агрегату. Із її збільшенням зростає частота виникнення динамічних навантажень та амплітуда коливань, що призводить до погіршення плавності руху. У транспортних МТА критичне значення має швидкість під час

руху нерівними дорогами, оскільки навіть незначні нерівності спричиняють суттєві динамічні навантаження в зоні зчіпки [2, 6].

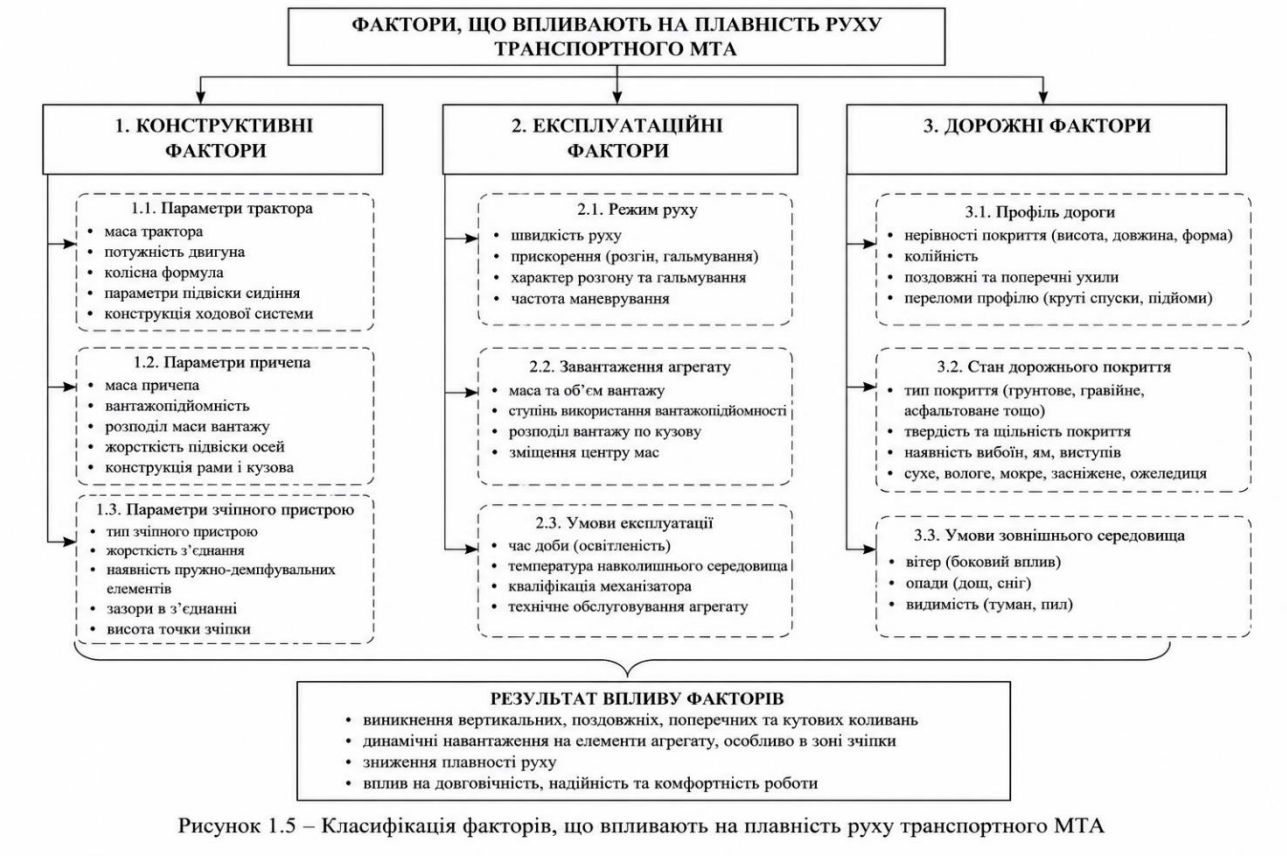


Рисунок 1.5 – Класифікація факторів, що впливають на плавність руху транспортного МТА

Рисунок 1.5 – Класифікація факторів, що впливають на плавність руху транспортного МТА

Вплив швидкості руху на динамічність роботи агрегату можна оцінити через коефіцієнт динамічності:

$$k_д = \frac{P_д}{P_{ст}}, \tag{1.3}$$

де $k_д$ – коефіцієнт динамічності; $P_д$ – динамічне навантаження, Н; $P_{ст}$ – статичне навантаження, Н.

Зі збільшенням коефіцієнта динамічності підвищується інтенсивність навантаження на причіпний пристрій, що призводить до прискореного зношування з'єднань, підвищення вібраційного навантаження та зменшення довговічності конструкції.

Суттєвий вплив на плавність руху має характеристика дорожнього покриття. Для транспортних МТА, що використовуються в аграрному

виробництві, характерним є рух польовими та ґрунтовими дорогами, які мають значну кількість нерівностей. Наявність колійності, локальних заглиблень, виступів і зміни вологості поверхні спричиняє появу вертикальних і поздовжніх коливань, які передаються від причепа до трактора через жорсткий причіпний пристрій [3, 18].

Важливим фактором є маса та характер розміщення вантажу в причепі. Збільшення маси вантажу супроводжується підвищенням інерційних сил під час руху, особливо в режимах розгону й гальмування. При нерівномірному розподілі вантажу можливе зміщення центру мас, що негативно впливає на стійкість транспортного агрегату та інтенсивність коливальних процесів [16, 17].

Для оцінювання інерційного впливу вантажу використовується залежність:

$$F_i = m \cdot a\,, \tag{1.4}$$

де F_i – інерційна сила, Н; m – маса вантажу, кг; a – прискорення або уповільнення агрегату, м/с².

Із наведеної залежності видно, що зі збільшенням маси вантажу або зміною швидкісного режиму інерційна дія вантажу зростає, унаслідок чого збільшуються навантаження в зоні агрегатування.

Особливе значення для плавності руху має конструкція причіпного пристрою. У більшості серійних транспортних МТА використовується жорстке механічне з’єднання трактора з причепом, яке практично не компенсує коливання та ударні навантаження. Унаслідок цього динамічні зусилля безпосередньо передаються від причепа до трактора, погіршуючи плавність руху та підвищуючи навантаження на елементи конструкції.

Для зменшення динамічних навантажень перспективним є застосування пружно-демпфувальних елементів у причіпному пристрої, які забезпечують часткове поглинання енергії коливань і зменшують передачу ударних навантажень між ланками транспортного агрегату [4, 5].

Таким чином, плавність руху транспортного машинно-тракторного агрегату визначається комплексною дією дорожніх, експлуатаційних і

конструктивних факторів. Найбільший вплив на рівень коливань мають швидкість руху, стан дорожнього покриття, маса вантажу та конструкція причіпного пристрою. Це підтверджує доцільність удосконалення зчіпного механізму транспортного МТА шляхом застосування пружно-демпфувального пристрою, здатного зменшити динамічні навантаження та покращити плавність руху агрегату.

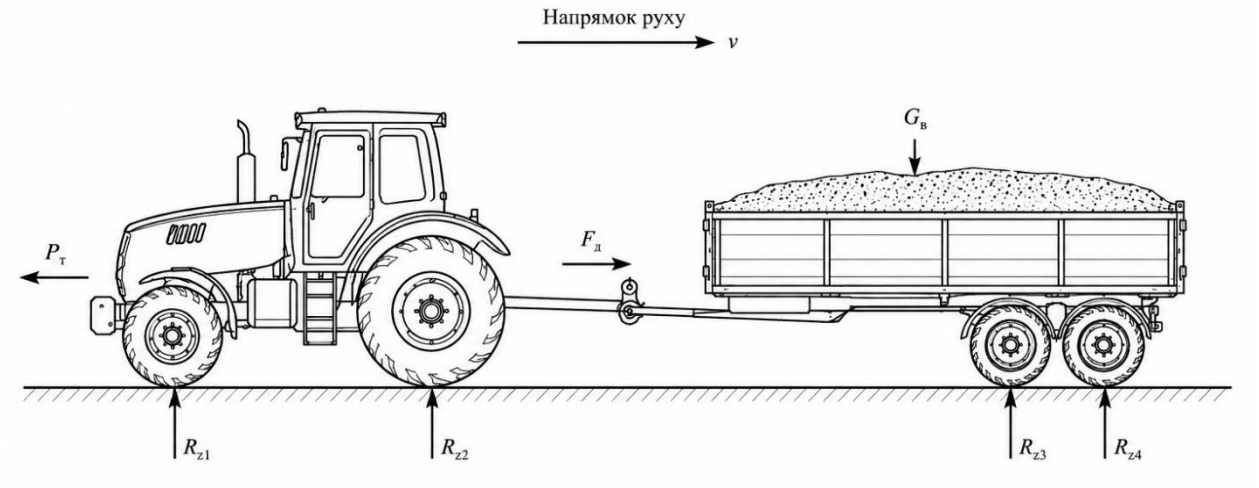
1.4 Вплив динамічних навантажень на роботу транспортного МТА

У процесі експлуатації транспортного машинно-тракторного агрегату виникають динамічні навантаження, які істотно впливають на технічний стан вузлів і механізмів, плавність руху, довговічність конструктивних елементів та умови праці механізатора. Особливо інтенсивно динамічні процеси проявляються під час руху нерівними дорогами, виконання транспортних операцій із змінною масою вантажу, а також під час розгону, гальмування та маневрування транспортного агрегату [1, 18].

Динамічні навантаження у транспортному МТА виникають унаслідок взаємодії декількох факторів: інерційної дії вантажу, коливань трактора й причепа, змінного тягового навантаження та впливу дорожнього покриття. У результаті цього в зоні агрегатування між трактором і причепом формуються змінні сили, які передаються через жорсткий причіпний пристрій та спричиняють додаткові навантаження на елементи конструкції [3], [5].

На рис. 1.6 наведено схему виникнення динамічних навантажень у транспортному машинно-тракторному агрегаті.

У транспортному агрегаті одним із найбільш навантажених вузлів є причіпний пристрій, через який передаються тягові та ударні навантаження. За наявності жорсткого механічного з’єднання імпульсні навантаження, що виникають під час подолання нерівностей, практично безпосередньо передаються від причепа до трактора, викликаючи додаткові коливання елементів конструкції та погіршуючи плавність руху [2, 4].



умовні позначення:

P_T – тягове зусилля трактора; $F_Д$ – динамічне навантаження в зоні зчіпки; $G_в$ – вага вантажу; R_{z1}–R_{z4} – вертикальні реакції дорожнього покриття; z_m, z_n – вертикальні коливання трактора та причепа; v – швидкість руху транспортного агрегату.

Рисунок 1.6 – Схема виникнення динамічних навантажень у транспортному МТА

Для оцінювання динамічного навантаження використовується коефіцієнт динамічності, який характеризує відношення фактичного навантаження до статичного (формула 1.3).

Зростання коефіцієнта динамічності свідчить про збільшення інтенсивності ударних навантажень у вузлах транспортного агрегату. При цьому підвищується рівень вібраційного навантаження на механізатора, збільшується ймовірність появи втомних пошкоджень деталей та знижується ресурс роботи елементів причіпного пристрою [4, 18].

Однією з причин виникнення динамічних навантажень є інерційний вплив маси причепа з вантажем. Під час розгону або гальмування транспортного агрегату виникають інерційні сили, які визначаються залежністю 1.4.

Із формули видно, що зі збільшенням маси вантажу або прискорення транспортного агрегату інерційна дія причепа зростає, що призводить до підвищення навантаження на причіпний механізм.

Для транспортного МТА на базі ХТЗ-17221 із причепом 2ПТС-6 характерною є значна зміна навантажень у процесі руху нерівними дорогами. Під час проходження дорожніх нерівностей виникають вертикальні переміщення коліс трактора та причепа, унаслідок чого формується коливальний процес, який призводить до появи змінних сил у зоні зчіпки. Схематично взаємодію сил у транспортному агрегаті наведено на рис. 1.7.

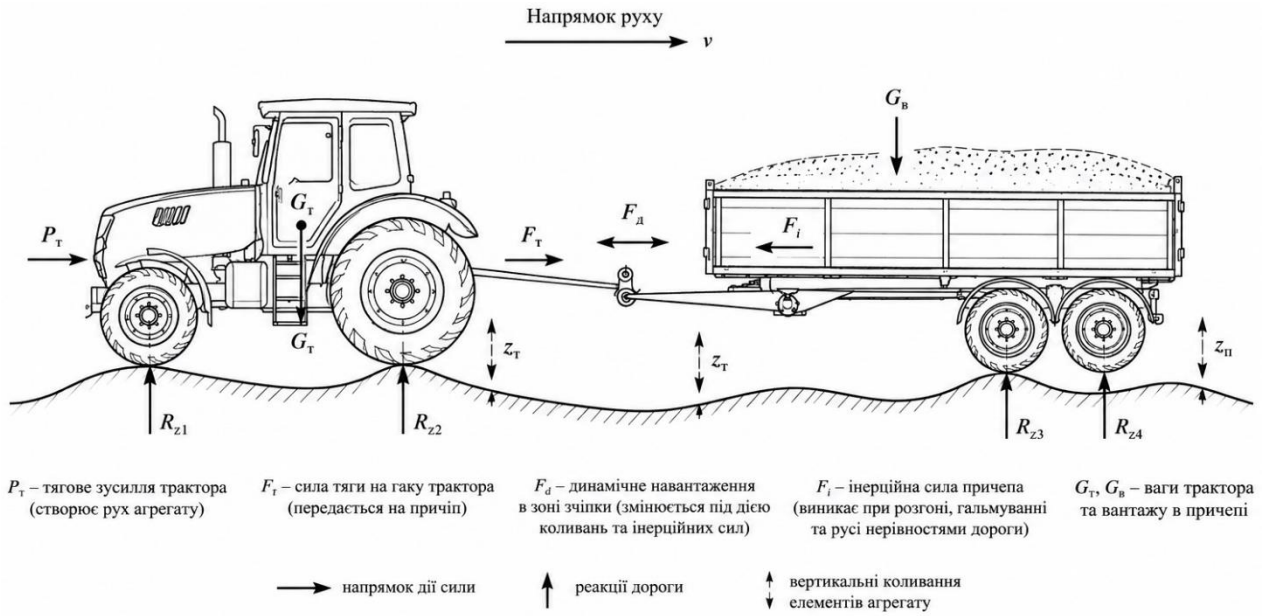


Рисунок 1.7 – Схема взаємодії сил у транспортному МТА під час руху нерівностями дороги

Як видно з рис. 1.7, під час руху транспортного МТА нерівностями дороги між трактором і причепом виникають змінні сили взаємодії, зумовлені інерційною дією маси причепа та вертикальними переміщеннями елементів агрегату. Найбільше динамічне навантаження концентрується в зоні зчіпки, де відбувається передача тягових, інерційних і ударних навантажень. За відсутності демпфувальних елементів ці навантаження практично безпосередньо передаються на трактор, погіршуючи плавність руху транспортного агрегату.

Для визначення впливу дорожніх нерівностей на транспортний агрегат може бути використана залежність частоти зовнішнього збурення:

$$f = \frac{v}{l}, \tag{1.5}$$

де f – частота збурюючого впливу, Гц; v – швидкість руху транспортного агрегату, м/с; l – характерна довжина нерівності дорожнього профілю, м.

Із наведеної залежності видно, що зі збільшенням швидкості руху транспортного МТА частота динамічних впливів зростає, що може призвести до резонансних явищ і погіршення плавності руху.

Негативний вплив динамічних навантажень проявляється не лише у зниженні довговічності вузлів транспортного агрегату, але й у погіршенні умов праці механізатора. Підвищений рівень вібрацій і ударних навантажень призводить до швидшої втомлюваності оператора, зниження точності керування та погіршення безпеки транспортних робіт [2, 9].

Таким чином, динамічні навантаження є одним із ключових факторів, що визначають ефективність роботи транспортного машинно-тракторного агрегату. Найбільш навантаженим вузлом є зона зчіпки трактора з причепом, де формуються основні ударні та коливальні процеси. Це підтверджує доцільність застосування пружно-демпфувального пристрою, здатного зменшити передачу динамічних навантажень і покращити плавність руху транспортного МТА.

1.5 Аналіз конструктивних способів покращення плавності руху транспортних агрегатів

Підвищення плавності руху транспортних машинно-тракторних агрегатів є важливим напрямом удосконалення транспортних засобів сільськогосподарського призначення. Недостатня плавність руху призводить до зростання динамічних навантажень у вузлах агрегату, погіршення умов праці механізатора, прискореного зношування деталей та зниження надійності транспортних засобів [1, 4]. У зв’язку з цим у сучасному машинобудуванні застосовуються різні конструктивні рішення, спрямовані на зменшення коливань і динамічних навантажень під час руху транспортних агрегатів.

Одним із найбільш поширених способів підвищення плавності руху є удосконалення підвіски транспортного засобу. Для тракторів застосовуються різні типи підресорювання, включаючи механічні, гідравлічні, пневматичні та

комбіновані системи. Використання підресорених передніх мостів і сидінь механізатора дозволяє частково знизити рівень вібрацій, що передаються оператору, однак практично не усуває динамічних навантажень, які виникають у зоні агрегатування трактора з причепом [2, 18].

На рис. 1.8 наведено основні конструктивні способи покращення плавності руху транспортного МТА.

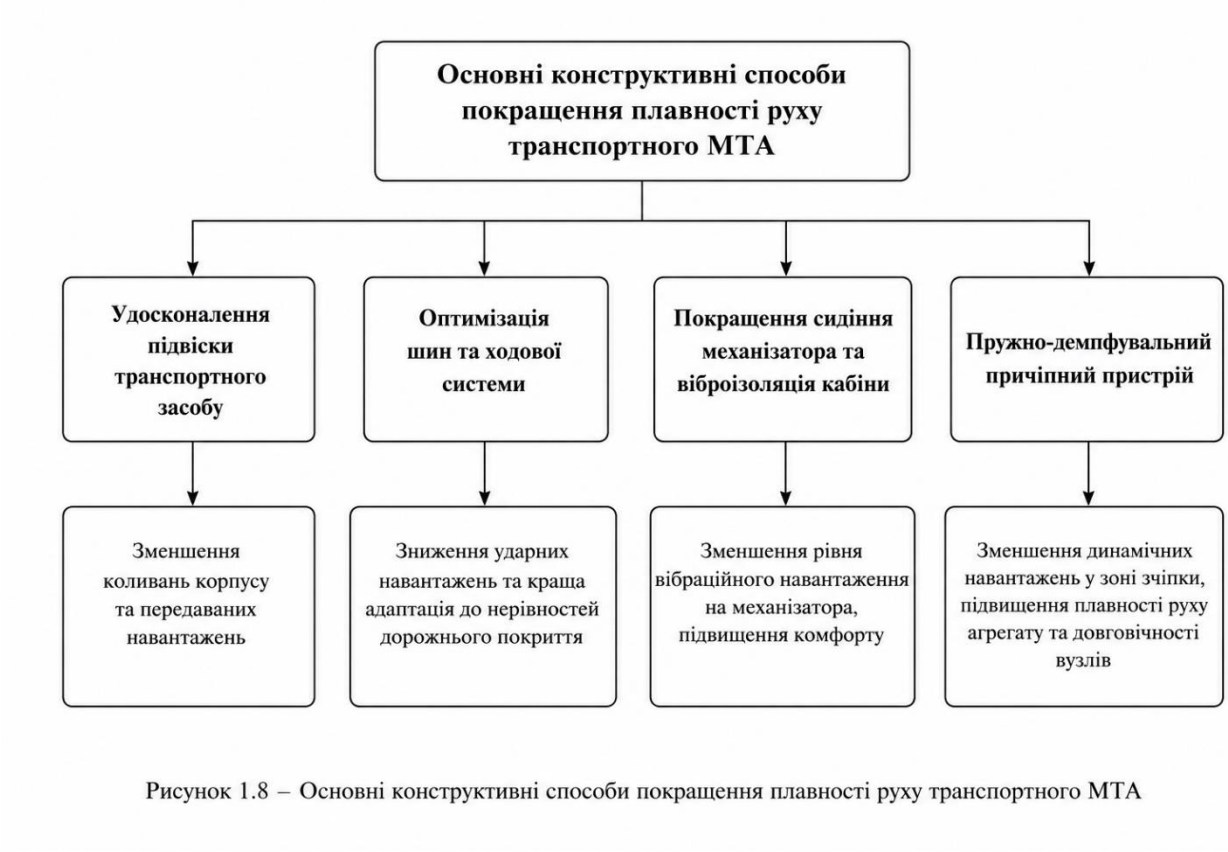


Рисунок 1.8 – Основні конструктивні способи покращення плавності руху транспортного МТА

Рисунок 1.8 – Основні конструктивні способи покращення плавності руху транспортного МТА

Іншим напрямом є оптимізація параметрів шин і ходової системи. Підбір раціонального тиску повітря в шинах, застосування шин зі збільшеною площею контакту та покращення характеристик ходової системи дозволяють частково компенсувати нерівності дорожнього покриття та зменшити передачу ударних навантажень на агрегат [3, 5].

Для покращення умов праці механізатора широко використовуються підресорені сидіння та віброізоляційні системи кабіни. Такі рішення спрямовані переважно на зниження впливу коливань на організм оператора та покращення

ергономічних показників роботи. Проте вони не усувають причини виникнення динамічних навантажень у транспортному агрегаті, а лише зменшують їх негативний вплив на механізатора [2, 4].

Суттєвого зниження динамічних навантажень можна досягти шляхом удосконалення конструкції причіпного пристрою, через який передаються основні тягові, інерційні та ударні навантаження між трактором і причепом. У серійних транспортних МТА переважно використовується жорстке механічне з'єднання, яке характеризується високою надійністю, проте має недостатню здатність до поглинання енергії коливань [14, 16].

Для оцінювання ефективності демпфування коливань застосовується коефіцієнт демпфування:

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}}, \tag{1.6}$$

де ζ – коефіцієнт демпфування; c – коефіцієнт демпфування, Н·с/м; k – жорсткість пружного елемента, Н/м; m – приведена маса системи, кг.

Зі збільшенням демпфувальної здатності системи зменшується амплітуда коливань і знижується інтенсивність передачі ударних навантажень між ланками транспортного агрегату. У зв'язку з цим одним із перспективних способів покращення плавності руху є використання пружно-демпфувальних елементів у причіпному пристрої, які дозволяють зменшити передачу динамічних навантажень від причепа до трактора [1, 18].

Для транспортного МТА на базі ХТЗ-17221 з причепом 2ПТС-6 найбільш доцільним є застосування комбінованого пружно-демпфувального причіпного пристрою, що включає гвинтову циліндричну пружину та гумометалевий демпфувальний елемент. Така конструкція забезпечує одночасно пружну компенсацію ударних навантажень і поглинання енергії коливань, що виникають під час руху нерівностями дороги.

Таким чином, аналіз конструктивних способів покращення плавності руху транспортних МТА показав, що найбільш ефективним напрямом зменшення динамічних навантажень є удосконалення конструкції причіпного пристрою. На

відміну від інших способів, використання пружно-демпфувального елемента дозволяє безпосередньо впливати на джерело виникнення ударних навантажень у зоні агрегатування трактора з причепом, що обумовлює доцільність його застосування у даному дипломному проєкті.

1.6. Обґрунтування напряму удосконалення причіпного пристрою транспортного МТА

Проведений аналіз умов експлуатації транспортних машинно-тракторних агрегатів, конструктивних особливостей транспортного МТА на базі трактора ХТЗ-17221 з причепом 2ПТС-6, а також факторів, що впливають на плавність руху, показав, що одним із найбільш навантажених вузлів транспортного агрегату є зона агрегатування трактора з причепом. Саме в цій зоні виникають змінні тягові, інерційні та ударні навантаження, зумовлені нерівностями дорожнього покриття, зміною швидкісного режиму та коливальними процесами, що виникають під час руху транспортного МТА [3, 18].

У серійній конструкції транспортного агрегату ХТЗ-17221 + 2ПТС-6 використовується жорстке причіпне з’єднання, яке забезпечує достатню міцність та надійність, однак практично не компенсує динамічні навантаження, що виникають у процесі руху. У результаті ударні навантаження від причепа передаються безпосередньо на трактор, що призводить до підвищення вібраційного навантаження, збільшення амплітуди коливань і погіршення плавності руху транспортного агрегату [14, 16].

Аналіз конструктивних способів покращення плавності руху транспортних агрегатів (рис. 1.8) показав, що найбільш ефективним напрямом зменшення динамічних навантажень є удосконалення конструкції причіпного пристрою. На відміну від удосконалення підвіски, оптимізації шин або покращення сидіння механізатора, застосування пружно-демпфувального пристрою дозволяє впливати безпосередньо на джерело виникнення ударних навантажень — зону зчіпки між трактором і причепом.

Для забезпечення необхідної ефективності покращення плавності руху причіпний пристрій повинен відповідати таким вимогам:

– забезпечувати зменшення динамічних навантажень у зоні агрегатування;

– компенсувати ударні навантаження, що виникають під час руху нерівностями дороги;

– не погіршувати тягово-зчіпні властивості транспортного агрегату;

– мати достатню міцність і надійність конструкції;

– бути технологічним у виготовленні та придатним до експлуатації в умовах сільськогосподарського виробництва;

– не потребувати суттєвого переобладнання базової конструкції трактора і причепа.

З метою зниження динамічних навантажень у транспортному МТА доцільним є використання комбінованого пружно-демпфувального причіпного пристрою, конструкція якого передбачає застосування пружного та демпфувального елементів. У даному дипломному проєкті пропонується використання циліндричної гвинтової пружини як пружного елемента та гумометалевого демпфера як елемента поглинання енергії коливань.

Принципова схема запропонованого напряму удосконалення наведена на рис. 1.9.

Ефективність застосування пружно-демпфувального пристрою визначається здатністю системи поглинати частину енергії коливань і зменшувати динамічні навантаження, які передаються між трактором і причепом. Динамічна сила, що передається через пружний елемент, може бути оцінена відповідно до закону пружності:

$$F_n = k \cdot \Delta x\,, \tag{1.7}$$

де F_n – сила пружного елемента, Н; k – жорсткість пружини, Н/м; Δx – деформація пружного елемента, м.

Із наведеної залежності видно, що величина сили взаємодії між трактором і причепом визначається жорсткістю пружного елемента та величиною його деформації. Раціональний вибір параметрів пружно-демпфувального пристрою

дозволяє забезпечити зменшення ударних навантажень без погіршення стійкості та керованості транспортного агрегату.

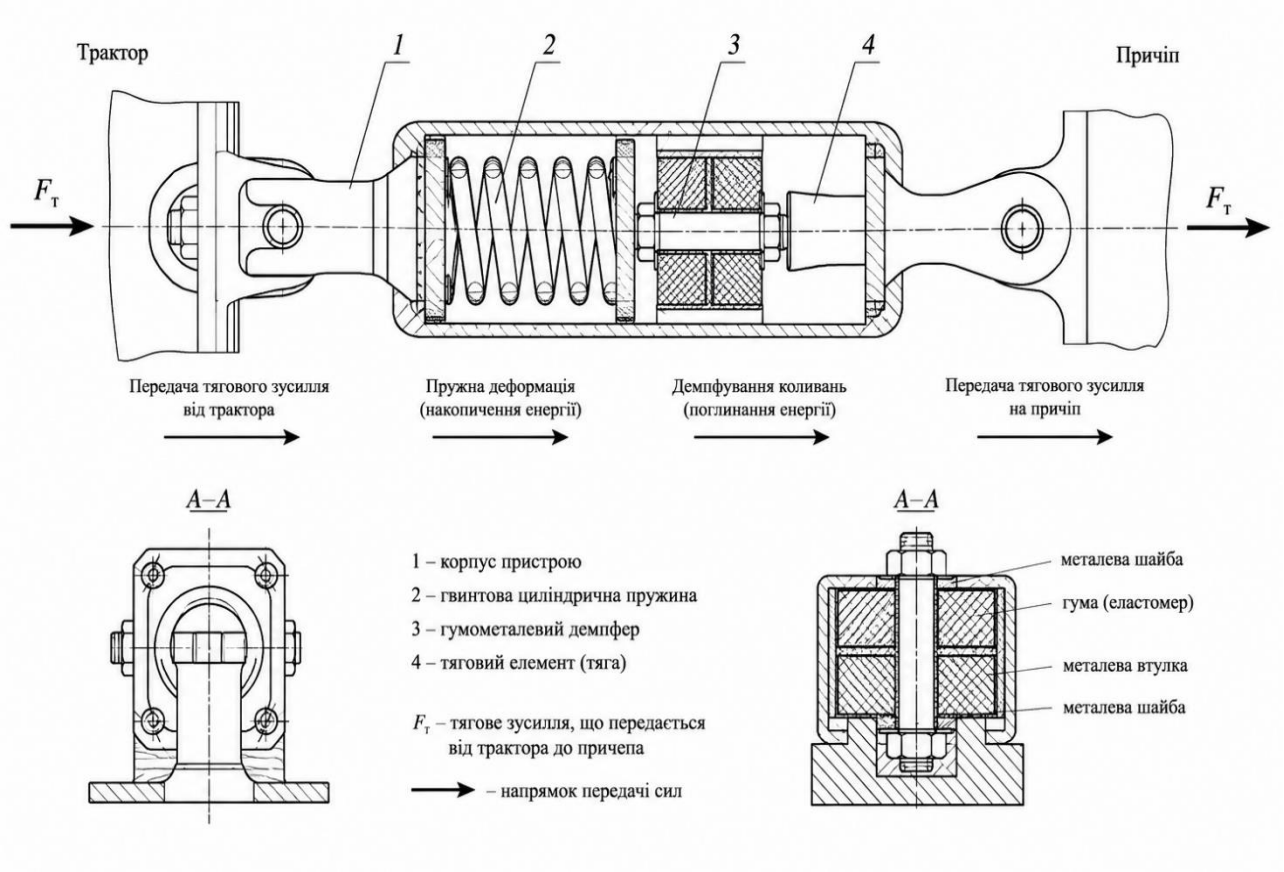


Рисунок 1.9 – Принципова схема пружно-демпфувального причіпного пристрою транспортного МТА

Очікуваним результатом застосування пружно-демпфувального причіпного пристрою є зменшення динамічних навантажень у зоні зчіпки на 15–25 %, зниження рівня коливань транспортного агрегату, покращення плавності руху та підвищення довговічності елементів конструкції.

Таким чином, на підставі проведеного аналізу встановлено, що найбільш доцільним напрямом удосконалення транспортного МТА на базі трактора ХТЗ-17221 з причепом 2ПТС-6 є застосування комбінованого пружно-демпфувального причіпного пристрою, який забезпечить зменшення ударних навантажень у зоні агрегатування та покращення плавності руху. Це рішення приймається як базове для подальшого конструкторського опрацювання та розрахунків у другому і третьому розділах дипломного проєкту.

Висновки по розділу 1

Проведено аналіз особливостей експлуатації транспортних машинно-тракторних агрегатів у сільськогосподарському виробництві та встановлено, що ефективність їх використання значною мірою визначається плавністю руху, яка впливає на довговічність елементів конструкції, комфортність роботи механізатора та надійність транспортного агрегату.

Встановлено, що транспортний МТА на базі трактора ХТЗ-17221 з причепом 2ПТС-6 має достатні технічні та експлуатаційні характеристики для виконання внутрішньогосподарських перевезень, однак при русі польовими та ґрунтовими дорогами піддається значним динамічним навантаженням, що виникають унаслідок нерівностей дорожнього покриття, інерційної дії вантажу та змінних режимів руху.

Проаналізовано основні фактори, що впливають на плавність руху транспортного МТА, серед яких найбільший вплив мають швидкість руху, характер дорожнього покриття, маса вантажу, конструктивні особливості причепа та характеристики причіпного пристрою. Встановлено, що найбільш навантаженою зоною транспортного агрегату є місце з’єднання трактора з причепом, у якому концентруються тягові, інерційні та ударні навантаження.

Виконаний аналіз конструктивних способів покращення плавності руху показав, що удосконалення підвіски, оптимізація шин і покращення віброізоляції робочого місця механізатора дозволяють лише частково зменшити негативний вплив коливань, однак не усувають основного джерела динамічних навантажень у зоні агрегатування.

Обґрунтовано доцільність удосконалення транспортного МТА шляхом застосування комбінованого пружно-демпфувального причіпного пристрою, конструкція якого передбачає використання гвинтової циліндричної пружини та гумометалевого демпфувального елемента. Очікуваним результатом впровадження запропонованого технічного рішення є зменшення динамічних навантажень у зоні зчіпки, покращення плавності руху транспортного агрегату та підвищення довговічності його конструктивних елементів.

На підставі отриманих результатів сформовано напрям подальшого проєктування, який полягає в обґрунтуванні параметрів і конструкції пружно-демпфувального причіпного пристрою транспортного МТА у другому та третьому розділах дипломного проєкту.

РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРУЖНО-ДЕМПФУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ТРАНСПОРТНОГО МТА

У першому розділі встановлено, що одним із найбільш ефективних напрямів покращення плавності руху транспортного машинно-тракторного агрегату є застосування пружно-демпфувального причіпного пристрою, здатного зменшити динамічні навантаження в зоні агрегатування трактора з причепом. Для транспортного МТА на базі трактора ХТЗ-17221 з причепом 2ПТС-6 запропоновано використання комбінованої конструкції, яка поєднує пружний і демпфувальний елементи.

Ефективність роботи пружно-демпфувального пристрою значною мірою залежить від правильного вибору його конструктивних параметрів, зокрема жорсткості пружного елемента, демпфувальних характеристик та геометричних параметрів конструкції. Недостатня жорсткість може призвести до надмірних переміщень причепа та погіршення стійкості агрегату, тоді як надмірна жорсткість зменшує ефективність гасіння ударних навантажень.

У даному розділі буде виконано обґрунтування розрахункової схеми транспортного МТА, аналіз навантажень у зоні агрегатування, визначення параметрів пружного та демпфувального елементів, а також оцінювання впливу запропонованої конструкції на плавність руху транспортного агрегату.

2.1 Обґрунтування розрахункової схеми транспортного МТА

Для визначення параметрів пружно-демпфувального причіпного пристрою необхідно побудувати розрахункову схему транспортного машинно-тракторного агрегату, яка дозволить оцінити характер взаємодії між трактором і причепом під час руху, а також визначити основні навантаження, що виникають у зоні агрегатування.

Під час руху транспортного МТА нерівностями дороги між трактором і причепом виникають змінні динамічні навантаження, зумовлені вертикальними переміщеннями елементів агрегату, інерційною дією маси причепа з вантажем та зміною швидкісного режиму. Основна частина навантажень концентрується в

зоні причіпного пристрою, через який здійснюється передача тягового зусилля та взаємодія між ланками транспортного агрегату [3, 18].

З метою спрощення математичного опису транспортний агрегат у даному дипломному проєкті розглядається як двомасова коливальна система, у якій трактор і причіп представлені зосередженими масами, з'єднаними пружно-демпфувальним елементом.

Під час побудови розрахункової схеми приймаються такі допущення:

– рух транспортного агрегату розглядається в поздовжньо-вертикальній площині;

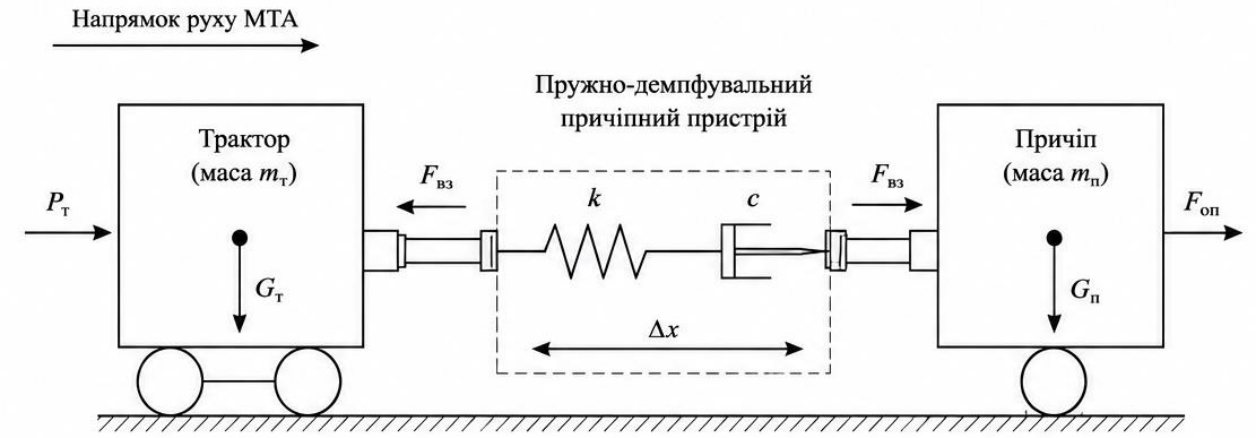
– маса трактора та причепа вважається зосередженою в центрах мас;

– пружно-демпфувальний пристрій працює в межах пружної деформації;

– коливання мають малу амплітуду;

– дорожні нерівності розглядаються як зовнішнє збурення.

Розрахункова схема транспортного МТА наведена на рис. 2.1.



умовні позначення:

m_m – маса трактора, кг; m_n – маса причепа з вантажем, кг; P_T – тягове зусилля трактора, Н; F_{on} – сила опору руху причепа, Н; $F_{вз}$ – сумарна сила взаємодії у причіпному пристрої, Н; G_m – вага трактора, Н; G_n – вага причепа з вантажем, Н; k – жорсткість пружного елемента, Н/м; c – коефіцієнт демпфування, Н·с/м; Δx – деформація пружного елемента, м.

Рисунок 2.1 – Розрахункова схема транспортного МТА з пружно-демпфувальним причіпним пристроєм

У запропонованій схемі трактор розглядається як маса m_m, а причіп із вантажем — як маса m_n. Взаємодія між елементами транспортного агрегату відбувається через пружно-демпфувальний причіпний пристрій, який характеризується жорсткістю пружного елемента k та коефіцієнтом демпфування c.

На систему діють такі основні сили: P_T – тягове зусилля трактора; $F_д$ – динамічне навантаження в зоні агрегатування; $F_п$ – сила пружного елемента; $F_{оп}$ – сила опору руху причепа; $G_т$ – вага трактора; $G_п$ – вага причепа з вантажем; $q(t)$ – зовнішнє збурення, спричинене нерівностями дороги.

Для опису взаємодії елементів системи використовується залежність сили пружного елемента, наведена у підрозділі 1.6. Крім того, сила демпфування визначається за залежністю:

$$F_{дп} = c \cdot \dot{x}, \tag{2.1}$$

де $F_{дп}$ – сила демпфування, Н; c – коефіцієнт демпфування, Н·с/м; x – швидкість відносного переміщення елементів системи, м/с.

Повна сила взаємодії між трактором і причепом визначається як сума пружної та демпфувальної складових:

$$F_{вз} = k\Delta x + c\dot{x}, \tag{2.2}$$

де $F_{вз}$ – сила взаємодії між трактором і причепом, Н; k – жорсткість пружного елемента, Н/м; Δx – деформація пружини, м; c – коефіцієнт демпфування, Н·с/м; x – швидкість деформації, м/с.

З метою подальших розрахунків необхідно визначити приведені маси елементів транспортного агрегату. Для трактора ХТЗ-17221 приймаємо експлуатаційну масу:

$$m_m = 8600\,кг$$

Для причепа 2ПТС-6 з номінальним завантаженням:

$$m_n = 2300 + 6000 = 8300\,кг$$

Таким чином, співвідношення мас трактора та причепа є близьким до 1:1, що створює умови для виникнення інтенсивних коливальних процесів у зоні

агрегатування та підтверджує доцільність застосування пружно-демпфувального пристрою.

На підставі сформованої розрахункової схеми в наступному підрозділі буде виконано визначення навантажень у зоні причіпного пристрою транспортного МТА, що дозволить перейти до обґрунтування параметрів пружного та демпфувального елементів конструкції.

2.2 Визначення навантажень у зоні причіпного пристрою транспортного МТА

Одним із визначальних етапів проєктування пружно-демпфувального причіпного пристрою є встановлення величини навантажень, що виникають у зоні агрегатування трактора з причепом. Саме від рівня та характеру цих навантажень залежить вибір жорсткості пружного елемента, параметрів демпфера та геометричних характеристик конструкції.

У транспортному МТА на базі трактора ХТЗ-17221 з причепом 2ПТС-6 навантаження в зоні зчіпки формуються внаслідок сумарної дії тягового опору, інерційної дії маси причепа, ударних навантажень під час подолання нерівностей дорожнього покриття та коливальних процесів, які виникають у ходовій системі агрегату [4, 18].

Розрахунок навантажень виконується для найбільш характерного режиму експлуатації — руху ґрунтовою дорогою із середньою швидкістю 18 км/год, що відповідає умовам використання транспортного МТА, прийнятим у вихідних даних проєкту.

Для визначення розрахункового навантаження спочатку визначаємо повну масу транспортного причепа:

$$m_п = m_0 + m_в \ , \tag{2.3}$$

де m_0 – власна маса причепа, кг; $m_в$ – маса вантажу, кг.

Підставляючи значення для причепа 2ПТС-6:

$$m_п = 2300 + 6000 = 8300 \, кг$$

Вага причепа з вантажем:

$$G_n = m_n \cdot g, \tag{2.4}$$

де G_n – вага причепа з вантажем, Н; m_n – маса причепа з вантажем, кг;
g – прискорення вільного падіння (9,81 м/с^2).

Підстановка числових значень:

$$G_n = 8300 \cdot 9{,}81 = 81423\,H$$

Отже, вага навантаженого причепа становить:

$$G_n = 81{,}4\,кН$$

Під час руху транспортного агрегату в зоні зчіпки виникає інерційна сила, яка залежить від маси причепа та прискорення руху. Для транспортних МТА під час руху нерівними дорогами допустимо приймати середнє динамічне прискорення в межах 0,4–0,6 м/с². Для розрахунку приймаємо: а=0,5 м/с^2.

Інерційна сила визначається за залежністю, наведеною у формулі (1.4), підставляючи значення:

$$\begin{gathered} F_i = 8300 \cdot 0{,}5 = 4150\,H \\ F_i = 4{,}15\,кН \end{gathered}, \tag{2.5}$$

Крім інерційного впливу, у зоні агрегатування виникає динамічне навантаження, спричинене коливальними процесами. Для транспортних агрегатів, що працюють на нерівних дорогах, коефіцієнт динамічності приймається в межах 1,2–1,4. Для подальших розрахунків приймаємо: kд=1,3.

Тоді розрахункове динамічне навантаження визначається як:

$$F_д = k_д \cdot F_i, \tag{2.6}$$

Після підстановки значень отримаємо:

$$\begin{gathered} F_д = 1{,}3 \cdot 4150 = 5395\,H \\ F_д = 5{,}4\,кН \end{gathered}$$

Оскільки причіпний пристрій повинен працювати із запасом міцності та компенсувати ударні навантаження, для подальшого проєктування доцільно ввести коефіцієнт запасу: n=1,5.

Тоді розрахункове навантаження для вибору параметрів пружно-демпфувального пристрою становитиме:

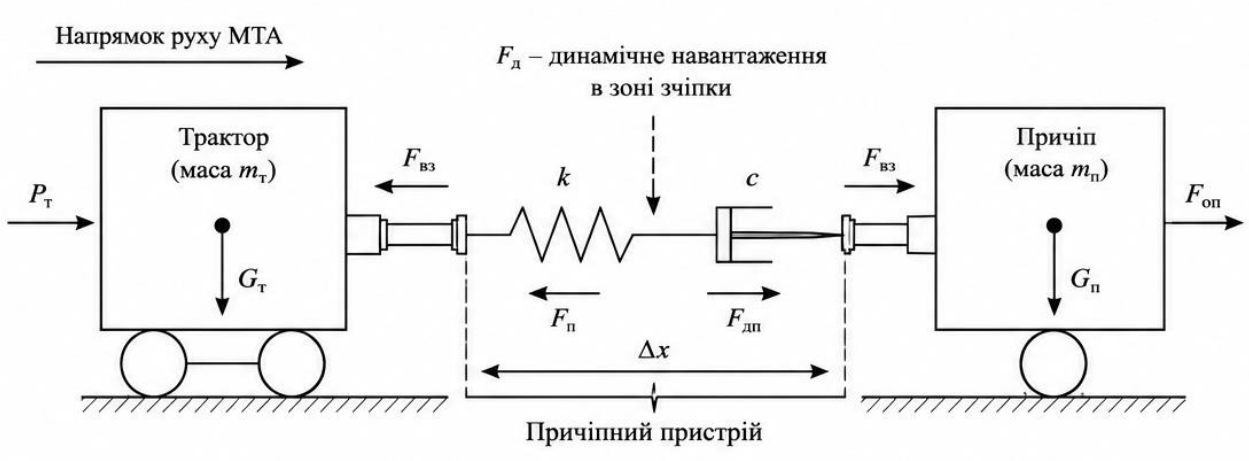
$$F_p = n \cdot F_д \,, \tag{2.7}$$

Після підстановки значень отримаємо:

$$F_p = 1{,}5 \cdot 5395 = 8092{,}5\,H$$

$$F_p \approx 8{,}1\,кH$$

Для наочності структура навантажень у зоні агрегатування наведена на рис. 2.2.



умовні позначення:

P_m – тягове зусилля трактора, Н; $F_{оп}$ – сила опору руху причепа, Н; $F_д$ – динамічне навантаження в зоні зчіпки, Н; $F_п$ – сила пружного елемента, Н; $F_{дп}$ – сила демпфування, Н; $F_{вз}$ – сумарна сила взаємодії у причіпному пристрої, Н; G_m – вага трактора, Н; $G_п$ – вага причепа з вантажем, Н; k – жорсткість пружного елемента, Н/м; c – коефіцієнт демпфування, Н·с/м; Δx – деформація пружного елемента, м; x – швидкість деформації пружно-демпфувального елемента, м/с.

Рисунок 2.2 – Складові навантаження у зоні причіпного пристрою транспортного МТА

На рис. 2.2 показано основні складові навантаження, що виникають у зоні причіпного пристрою транспортного МТА. У процесі руху агрегату динамічне навантаження $F_д$ сприймається пружним елементом, який формує силу $F_п$, та демпфувальним елементом, що створює силу опору $F_{дп}$. Сумарна сила взаємодії $F_{вз}$ визначає характер передачі навантаження між трактором і причепом та впливає на плавність руху транспортного агрегату.

Таким чином, встановлено, що розрахункове навантаження, яке повинна компенсувати пружно-демпфувальна система причіпного пристрою транспортного МТА ХТЗ-17221 + 2ПТС-6, становить близько 8,1 кН. Отримане значення буде використано для визначення жорсткості пружного елемента та параметрів гумометалевого демпфера у наступному підрозділі.

2.3 Розрахунок параметрів пружного елемента причіпного пристрою

Одним із ключових елементів запропонованого пружно-демпфувального причіпного пристрою є циліндрична гвинтова пружина стиску, яка забезпечує компенсацію ударних навантажень, що виникають під час руху транспортного МТА нерівностями дороги. Правильний вибір параметрів пружного елемента дозволяє зменшити динамічні навантаження в зоні агрегатування та забезпечити необхідну плавність руху транспортного агрегату.

Під час проєктування пружного елемента необхідно забезпечити: компенсацію розрахункового динамічного навантаження; роботу в межах пружної деформації; відсутність втрати стійкості пружини; технологічність виготовлення конструкції; компактність розміщення у корпусі причіпного пристрою.

У підрозділі 2.2 встановлено, що розрахункове навантаження на пружно-демпфувальний пристрій становить: F_p=8,1 кН.

Для забезпечення ефективного гасіння ударних навантажень приймаємо допустимий робочий хід пружного елемента: Δx=0,06 м.

Жорсткість пружного елемента визначається відповідно до закону пружності, наведеного у формулі (1.7):

Звідси жорсткість пружини:

$$k = \frac{F_p}{\Delta x}, \tag{2.8}$$

Підставляючи розрахункові значення:

$$k = \frac{8100}{0,06} = 135000\, Н / м.$$

Отже, необхідна жорсткість пружного елемента становить:

$$k = 135 кН / м.$$

Після визначення необхідної жорсткості виконуємо підбір геометричних параметрів гвинтової циліндричної пружини.

Для виготовлення пружини приймаємо матеріал: сталь 60С2А, яка широко застосовується для виготовлення навантажених пружних елементів транспортних систем та має високі пружні властивості.

Модуль зсуву матеріалу:

$$G = 8 \cdot 104 МПа.$$

Приймаємо попередньо:

середній діаметр пружини:

$$D = 120 мм$$

діаметр дроту:

$$d = 18 мм.$$

Кількість робочих витків визначається за залежністю:

$$n = \frac{Gd^4}{8D^3k}, \tag{2.9}$$

Підставляючи значення:

$$n = \frac{80000 \cdot 18^4}{8 \cdot 120^3 \cdot 135}$$

Після обчислення:

$$n = 4,5$$

Приймаємо:

$$n = 5$$

робочих витків.

Загальна кількість витків:

$$n_з = n + 2, \tag{2.10}$$

де два витки є опорними.

Після підстановки:

$$n_з = 5 + 2 = 7$$

витків.

Висота пружини в стислому стані:

$$H_c = n_з \cdot d \,, \tag{2.11}$$

Після підстановки:

$$H_c = 7 \cdot 18 = 126\,мм$$

Робоча висота пружини:

$$H_p = H_c + \Delta x$$

$$H_p = 126 + 60 = 186\,мм$$

Для забезпечення запасу деформації приймаємо конструктивну висоту пружини:

$$H = 210\,мм$$

Отримані параметри пружного елемента наведено в табл. 2.1.

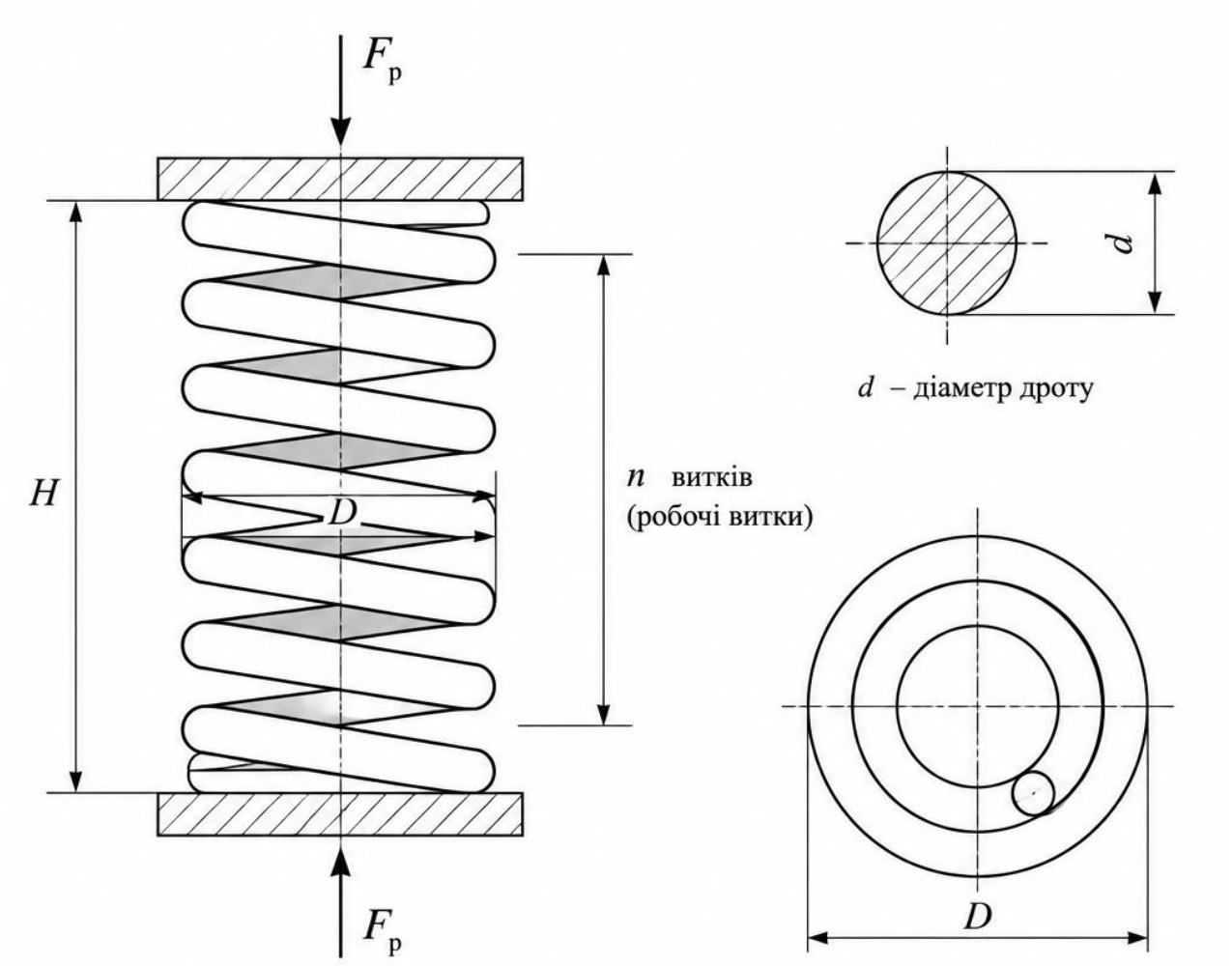
Таблиця 2.1 – Основні параметри пружного елемента причіпного пристрою

Параметр	Значення
Розрахункове навантаження, F_p	8,1 кН
Робочий хід, Δx	60 мм
Жорсткість, k	135 кН/м
Матеріал	сталь 60С2А
Діаметр дроту, d	18 мм
Середній діаметр пружини, D	120 мм
Робоча кількість витків, n	5
Загальна кількість витків, $n_з$	7
Конструктивна висота, H	210 мм

На рис. 2.3 наведено конструктивну схему пружного елемента причіпного пристрою.

На рис. 2.3 наведено розрахункову схему циліндричної гвинтової пружини, що використовується як пружний елемент причіпного пристрою транспортного МТА. Пружина працює на стиск під дією розрахункового навантаження F_p, яке виникає внаслідок динамічної взаємодії трактора та причепа під час руху нерівностями дороги. Основними геометричними параметрами пружини є

середній діаметр *D*, діаметр дроту *d*, кількість робочих витків n та конструктивна висота *H*. Від правильності вибору зазначених параметрів залежить жорсткість пружного елемента, його деформаційна здатність та ефективність компенсації ударних навантажень у зоні агрегатування транспортного МТА.



умовні позначення:

F_p – розрахункове навантаження на пружину, Н; *D* – середній діаметр пружини, мм; *d* – діаметр дроту пружини, мм; *n* – кількість робочих витків пружини; *H* – конструктивна висота пружини, мм.

Рисунок 2.3 – Розрахункова схема циліндричної гвинтової пружини причіпного пристрою

Таким чином, у результаті проведених розрахунків визначено основні параметри пружного елемента пружно-демпфувального причіпного пристрою. Встановлено, що для компенсації розрахункового навантаження транспортного МТА доцільним є застосування циліндричної гвинтової пружини зі жорсткістю

135 кН/м, діаметром дроту 18 мм і конструктивною висотою 210 мм, що забезпечує ефективне зменшення динамічних навантажень у зоні агрегатування.

2.4 Обґрунтування параметрів гумометалевого демпфера

Для підвищення ефективності роботи пружно-демпфувального причіпного пристрою поряд із пружним елементом необхідно застосувати демпфувальний елемент, основним призначенням якого є зниження амплітуди коливань і поглинання частини енергії ударних навантажень, що виникають у зоні агрегатування транспортного МТА під час руху нерівностями дороги.

У запропонованій конструкції причіпного пристрою доцільно використовувати гумометалевий демпфер осьового стиску, який характеризується достатньою надійністю, простотою виготовлення, ремонтопридатністю та ефективною роботою в умовах циклічних навантажень. На відміну від гідравлічних демпферів, гумометалеві елементи менш чутливі до забруднення, перепадів температур і не потребують складного технічного обслуговування, що є важливим для експлуатації сільськогосподарської техніки [4, 18].

Основною характеристикою демпфера є сила демпфування, яка визначається залежністю, наведеною в підрозділі 2.1.

З метою забезпечення ефективного поглинання коливань сила демпфування повинна бути співмірною із розрахунковим динамічним навантаженням, визначеним у підрозділі 2.2 ($F_д$=5,4 кН).

Для транспортних пружно-демпфувальних систем сільськогосподарської техніки коефіцієнт демпфування доцільно приймати в межах:

$$c = 18000 \ldots 25000\, H.$$

Для подальших розрахунків приймаємо:

$$c = 22000\, H$$

Середня швидкість відносної деформації елемента під час руху транспортного МТА нерівностями дороги приймається:

$$\dot{x} = 0{,}25\, м / с.$$

Тоді сила демпфування становитиме:

$$F_{дп} = 22000 \cdot 0,25 = 5500\,Н$$

$$F_{дп} = 5,5\,кН.$$

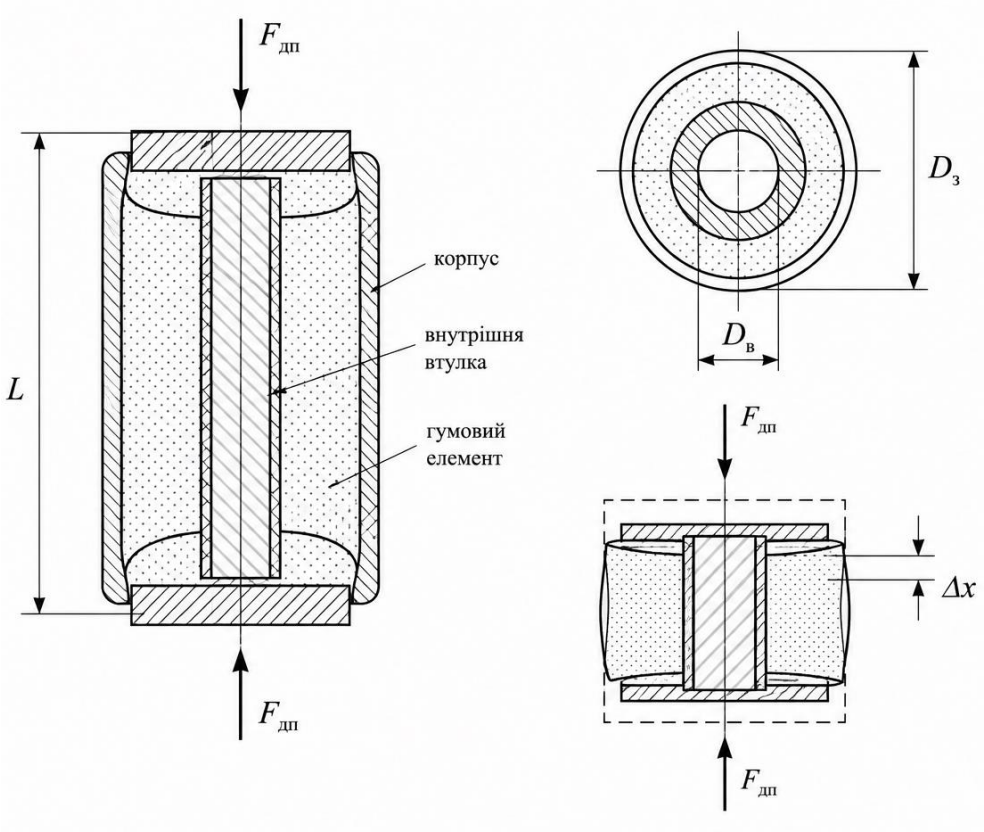
Отримане значення практично відповідає розрахунковому динамічному навантаженню, визначеному у підрозділі 2.2, що підтверджує правильність вибору параметрів демпфувального елемента та його здатність ефективно зменшувати передачу ударних навантажень між трактором і причепом.

Конструктивно демпфер доцільно виконати у вигляді гумометалевого блока осьового стиску, який складається з металевого корпуса, внутрішньої втулки та еластомерного шару між ними. Під дією навантаження гумовий елемент деформується, поглинаючи частину енергії коливань та забезпечуючи її поступове розсіювання.

Для виготовлення еластомерного елемента приймаємо маслобензостійку гуму середньої жорсткості типу 51-1562, яка характеризується високою зносостійкістю, здатністю працювати в умовах знакозмінних навантажень та достатньою еластичністю.

Розрахункова схема гумометалевого демпфера наведена на рис. 2.4.

Тут наведено розрахункову схему гумометалевого демпфера, що використовується в конструкції пружно-демпфувального причіпного пристрою транспортного МТА. Конструкція демпфера включає металевий корпус, внутрішню втулку та еластомерний шар, який забезпечує поглинання енергії коливань у процесі деформації. Під дією осьового навантаження $F_{дп}$, що виникає в зоні агрегатування трактора з причепом, відбувається стискання гумового елемента на величину Δx, унаслідок чого частина механічної енергії коливань розсіюється, зменшуючи інтенсивність передачі ударних навантажень між ланками транспортного агрегату. Основними конструктивними параметрами демпфера є зовнішній діаметр $D_з$, внутрішній діаметр втулки $D_в$, довжина L та товщина гумового шару h, які визначають його демпфувальні властивості та довговічність роботи.



умовні позначення:

$F_{дп}$ – сила демпфування, Н; Δx – деформація еластомерного елемента, м; $D_з$ – зовнішній діаметр демпфера, мм; $D_в$ – внутрішній діаметр металевої втулки, мм; L – довжина демпфера, мм; h – товщина гумового шару, мм.

Рисунок 2.4 – Розрахункова схема гумометалевого демпфера причіпного пристрою

Для забезпечення необхідної демпфувальної здатності та технологічності виготовлення приймаємо такі конструктивні параметри демпфера: зовнішній діаметр - 90 мм., внутрішній діаметр металевої втулки - 35 мм., довжина демпфера - 80 мм., товщина гумового шару - 20 мм..

Основні параметри гумометалевого демпфера наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Основні параметри гумометалевого демпфера

Параметр	**Значення**
Коефіцієнт демпфування, c	22000 Н·с/м
Сила демпфування, $F_{дп}$	5,5 кН
Зовнішній діаметр, $D_з$	90 мм

Внутрішній діаметр, $D_в$	35 мм
Довжина, L	80 мм
Товщина гумового шару, h	20 мм
Матеріал еластомера	гума 51-1562

Таким чином, у результаті проведеного обґрунтування встановлено, що для пружно-демпфувального причіпного пристрою транспортного МТА ХТЗ-17221 + 2ПТС-6 доцільно застосувати гумометалевий демпфер осьового стиску з коефіцієнтом демпфування 22000 Н·с/м і силою демпфування 5,5 кН. Запропоновані параметри забезпечують ефективне зниження динамічних навантажень у зоні агрегатування та покращують плавність руху транспортного агрегату.

2.5 Оцінка впливу пружно-демпфувального пристрою на плавність руху транспортного МТА

Одним із ключових критеріїв ефективності запропонованого пружно-демпфувального причіпного пристрою є його здатність зменшувати динамічні навантаження, які виникають у зоні агрегатування транспортного МТА під час руху нерівностями дороги. Для оцінювання ефективності конструктивного рішення виконаємо порівняння роботи транспортного агрегату до та після встановлення пружно-демпфувального пристрою.

У серійній конструкції транспортного агрегату ХТЗ-17221 + 2ПТС-6 використовується жорстке механічне з’єднання, яке практично не забезпечує компенсації ударних навантажень. Унаслідок цього значна частина динамічної енергії безпосередньо передається від причепа до трактора, викликаючи додаткові коливання, зростання навантаження на елементи конструкції та погіршення умов роботи механізатора [4, 18].

Після встановлення пружно-демпфувального пристрою частина енергії коливань поглинається пружним і демпфувальним елементами, що сприяє зменшенню пікових навантажень у зоні зчіпки.

Для оцінювання ефективності використаємо коефіцієнт зниження динамічного навантаження:

$$\eta = \frac{F_{\partial 0} - F_{\partial 1}}{F_{\partial 0}} \cdot 100, \qquad (2.12)$$

де η – відносне зниження динамічного навантаження, %; $F_{\partial 0}$ – динамічне навантаження в серійній конструкції, Н; $F_{\partial 1}$ – динамічне навантаження після встановлення пружно-демпфувального пристрою, Н.

Згідно з результатами попередніх розрахунків, динамічне навантаження у серійній конструкції становить:

$$F_{\partial 0} = 5,4\,кН$$

На основі характеристик пружного та демпфувального елементів приймаємо очікуване зниження динамічного навантаження на 22 %, що відповідає характерним показникам для транспортних систем із пружно-демпфувальними елементами.

Тоді залишкове навантаження після встановлення пристрою::

$$F_{\partial 1} = 5,4 \cdot (1 - 0,22) = 4,21\,кН$$

Підставляючи значення у формулу, отримаємо:

$$\eta = 5,45,4 - 4,21 \cdot 100 = 22\%.$$

Отже, застосування пружно-демпфувального причіпного пристрою дозволяє зменшити динамічне навантаження в зоні агрегатування приблизно на 22%.

Крім зниження навантажень у зоні зчіпки, очікується покращення плавності руху транспортного агрегату за рахунок зменшення амплітуди коливань. Для орієнтовної оцінки зниження коливань використаємо коефіцієнт передачі динамічних впливів:

$$K_n = \frac{F_{\partial 1}}{F_{\partial 0}}$$

Після підстановки:

$$K_n = \frac{4,21}{5,4} = 0,78.$$

Отримане значення свідчить про те, що на трактор передається лише 78 % початкового динамічного навантаження, тоді як 22 % енергії коливань компенсується пружно-демпфувальним пристроєм.

Для наочності результати оцінювання наведено на рис. 2.5.

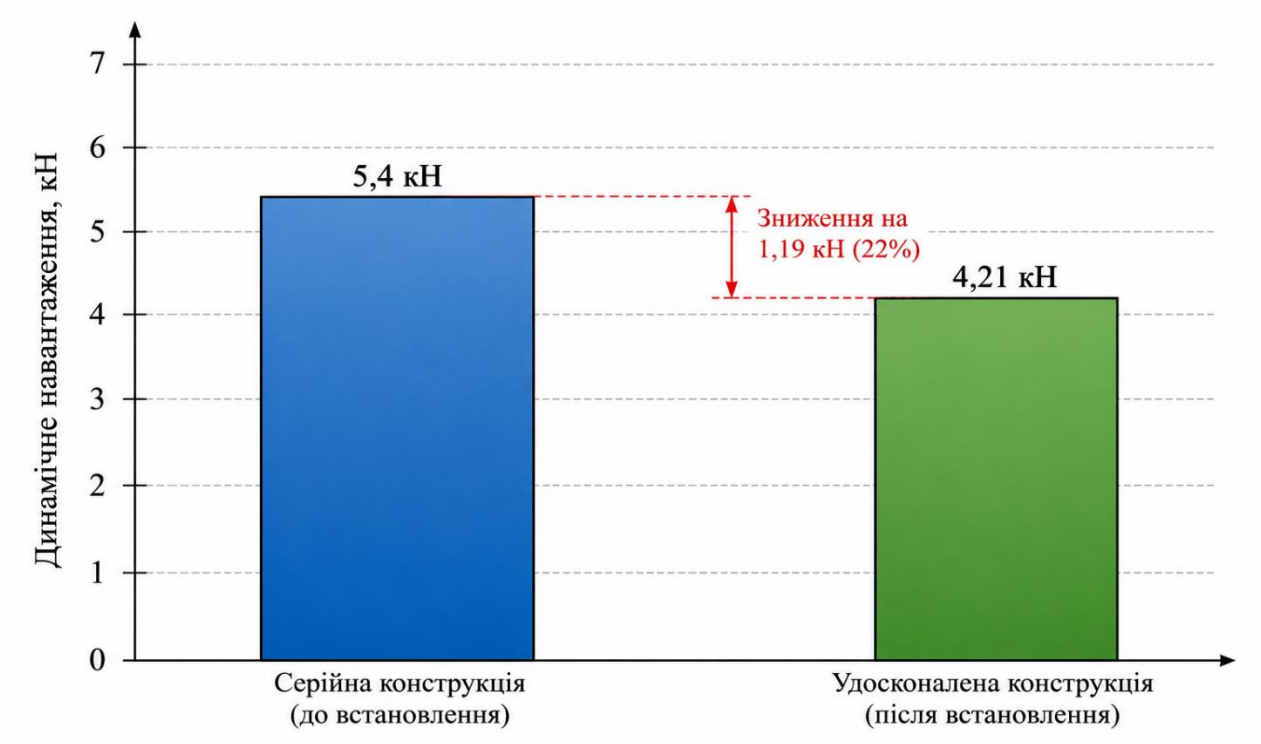


Рисунок 2.5 – Порівняння динамічного навантаження в зоні зчіпки транспортного МТА до та після встановлення пружно-демпфувального пристрою

Основні результати оцінювання наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати оцінювання ефективності пружно-демпфувального пристрою

Показник	**Серійна конструкція**	**Удосконалена конструкція**
Динамічне навантаження, кН	5,4	4,21
Коефіцієнт передачі навантаження	1,00	0,78
Зниження навантаження, %	–	22

Таким чином, проведена оцінка показала, що застосування пружно-демпфувального причіпного пристрою в транспортному МТА ХТЗ-17221 +

2ПТС-6 дозволяє знизити динамічні навантаження в зоні агрегатування приблизно на 22 %, що сприяє покращенню плавності руху, зменшенню ударного впливу на конструкцію транспортного агрегату та підвищенню довговічності його елементів.

2.6. Очікуване зменшення коливань і покращення плавності руху транспортного МТА

Одним із головних показників ефективності запропонованого пружно-демпфувального причіпного пристрою є покращення плавності руху транспортного машинно-тракторного агрегату за рахунок зменшення амплітуди коливань, які виникають під час руху нерівностями дороги. У транспортному МТА коливальні процеси формуються внаслідок взаємодії ходової системи трактора та причепа з нерівностями дорожнього покриття, а також у результаті передачі інерційних навантажень через зону зчіпки.

У серійній конструкції жорсткого причіпного пристрою динамічні навантаження практично безпосередньо передаються від причепа до трактора, що призводить до збільшення амплітуди вертикальних і поздовжніх коливань транспортного агрегату. Використання пружно-демпфувального пристрою дозволяє частково поглинати енергію коливань і зменшувати рівень їх передачі між ланками агрегату.

Для оцінювання покращення плавності руху використаємо коефіцієнт передачі коливань, який характеризує співвідношення амплітуди коливань після встановлення демпфувального пристрою до початкової амплітуди:

$$K_к = \frac{A_1}{A_0}, \tag{2.13}$$

де $K_к$ – коефіцієнт передачі коливань; A_0 – амплітуда коливань серійної конструкції, мм; A_1 – амплітуда коливань після встановлення пружно-демпфувального пристрою, мм.

Для транспортних МТА з жорсткою зчіпкою амплітуда коливань у зоні агрегатування може досягати:

$$A_0 = 28\,мм$$

На основі параметрів розрахованої пружно-демпфувальної системи та коефіцієнта зниження навантаження, отриманого у підрозділі 2.5, приймаємо очікуване зниження амплітуди коливань на 18 %.

Тоді:

$$A_1 = 28 \cdot (1 - 0{,}18)$$
$$A_1 = 22{,}96\,мм$$

Приймаємо A_1=23 мм.

Тоді коефіцієнт передачі коливань становитиме:

$$K_к = \frac{23}{28} = 0{,}82$$

Отримане значення свідчить про те, що після встановлення пружно-демпфувального пристрою транспортному агрегату передається близько 82 % початкової амплітуди коливань, тоді як 18 % коливальної енергії компенсується пружним і демпфувальним елементами.

Для оцінювання покращення плавності руху використаємо коефіцієнт плавності:

$$K_{пл} = \frac{A_0}{A_1}, \qquad (2.14)$$

Після підстановки:

$$K_{пл} = \frac{28}{23} = 1{,}22$$

Це свідчить про покращення плавності руху приблизно на 22%.

Для наочності очікувані результати наведено на рис. 2.6.

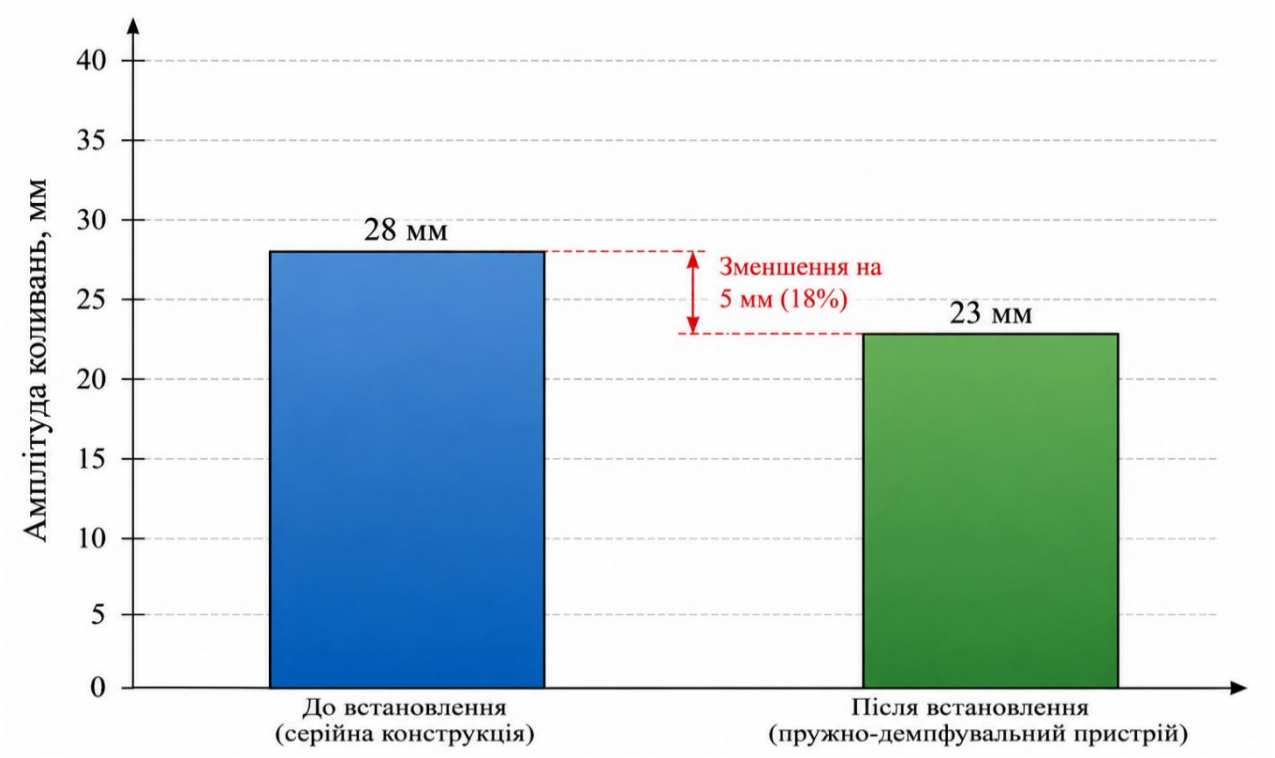


Рисунок 2.6 – Очікуване зменшення амплітуди коливань транспортного МТА після встановлення пружно-демпфувального пристрою

Таким чином, застосування пружно-демпфувального причіпного пристрою у транспортному МТА ХТЗ-17221 + 2ПТС-6 дозволяє очікувано знизити амплітуду коливань приблизно на 18 % та покращити плавність руху на 22 %, що сприятиме підвищенню довговічності вузлів агрегату, зменшенню ударних навантажень і покращенню умов роботи механізатора.

Висновки до розділу 2

У другому розділі дипломного проєкту виконано обґрунтування конструктивних параметрів пружно-демпфувального причіпного пристрою транспортного МТА на базі трактора ХТЗ-17221 з причепом 2ПТС-6. Побудовано розрахункову схему транспортного агрегату, у якій транспортний МТА представлено у вигляді двомасової коливальної системи, що дозволило врахувати характер взаємодії між трактором і причепом у процесі руху нерівностями дороги.

Установлено, що під час експлуатації транспортного агрегату основні навантаження концентруються в зоні причіпного пристрою та формуються

внаслідок сумарної дії інерційних, тягових і динамічних впливів. Для характерного режиму руху ґрунтовою дорогою зі швидкістю 18 км/год визначено, що розрахункове динамічне навантаження в зоні агрегатування становить 5,4 кН, а з урахуванням коефіцієнта запасу розрахункове навантаження на пружно-демпфувальний пристрій прийнято на рівні 8,1 кН.

У результаті проведених розрахунків обґрунтовано параметри пружного елемента причіпного пристрою. Визначено, що для забезпечення необхідної компенсації ударних навантажень доцільним є використання циліндричної гвинтової пружини зі жорсткістю 135 кН/м, діаметром дроту 18 мм, середнім діаметром 120 мм, кількістю робочих витків 5 та конструктивною висотою 210 мм.

Виконано обґрунтування параметрів гумометалевого демпфера осьового стиску, який забезпечує поглинання енергії коливань у зоні агрегатування. Установлено, що раціональним є використання демпфера з коефіцієнтом демпфування 22000 Н·с/м, який забезпечує силу демпфування на рівні 5,5 кН, що є співмірним із величиною динамічного навантаження транспортного агрегату.

Проведена оцінка ефективності запропонованого технічного рішення показала, що застосування пружно-демпфувального причіпного пристрою дозволяє знизити динамічне навантаження в зоні зчіпки з 5,4 кН до 4,21 кН, тобто приблизно на 22 %. При цьому очікуване зменшення амплітуди коливань транспортного МТА становить з 28 мм до 23 мм, що свідчить про покращення плавності руху приблизно на 18–22 %.

Отримані результати підтверджують доцільність застосування запропонованого пружно-демпфувального причіпного пристрою в конструкції транспортного МТА ХТЗ-17221 + 2ПТС-6 та є підставою для подальшого конструкторського опрацювання удосконаленої конструкції у третьому розділі дипломного проєкту.

РОЗДІЛ 3 УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПРИЧІПНОГО ПРИСТРОЮ ТРАНСПОРТНОГО МТА

У другому розділі дипломного проєкту було обґрунтовано параметри пружно-демпфувального причіпного пристрою транспортного МТА на базі трактора ХТЗ-17221 з причепом 2ПТС-6 та визначено основні характеристики його пружного й демпфувального елементів. Виконані розрахунки підтвердили доцільність застосування комбінованої конструкції, яка забезпечує зниження динамічних навантажень у зоні агрегатування та покращення плавності руху транспортного агрегату.

У даному розділі виконується конструктивне опрацювання удосконаленого причіпного пристрою, розроблення його компоновки, опис принципу роботи, а також перевірка працездатності найбільш навантажених елементів конструкції. Під час проєктування враховано вимоги технологічності виготовлення, надійності експлуатації, ремонтопридатності та можливості встановлення пристрою без суттєвих змін базової конструкції трактора ХТЗ-17221 і причепа 2ПТС-6.

3.1 Розроблення конструктивної схеми пружно-демпфувального причіпного пристрою

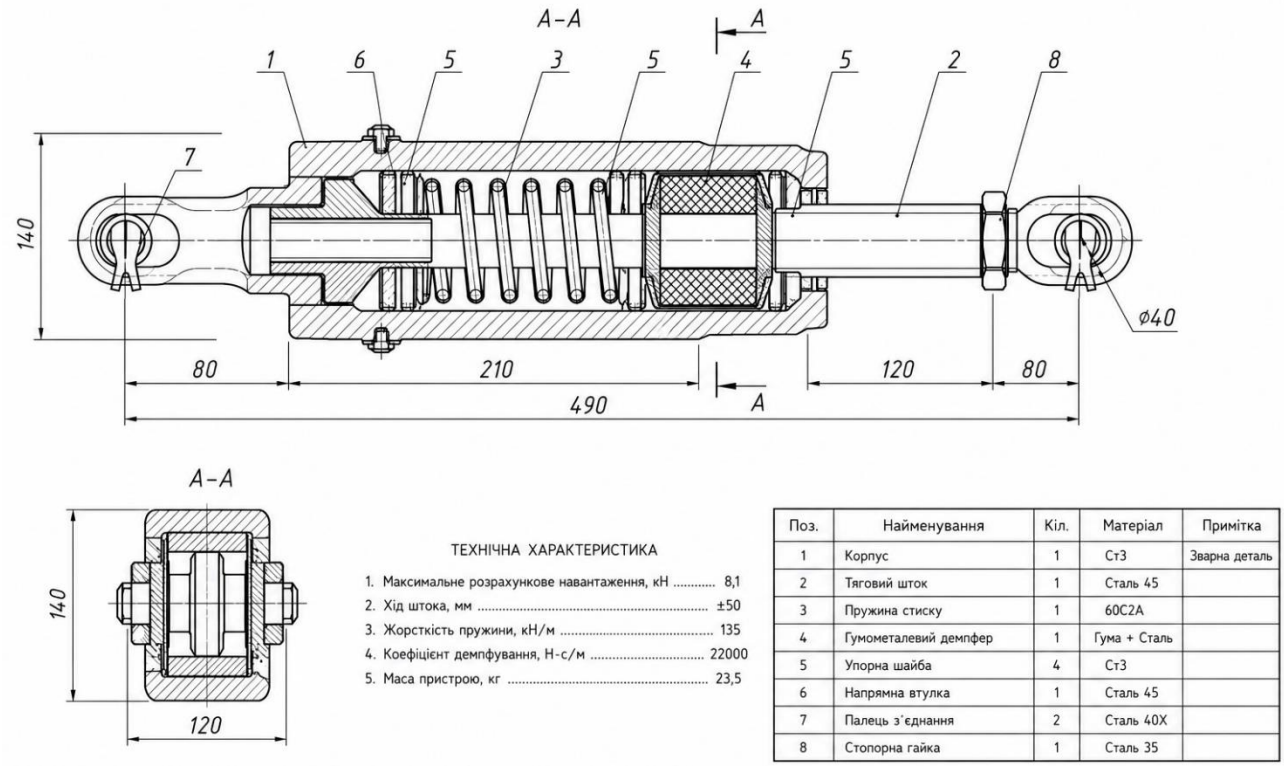
Для покращення плавності руху транспортного МТА в даному дипломному проєкті запропоновано конструкцію комбінованого пружно-демпфувального причіпного пристрою, який встановлюється між тяговим пристроєм трактора та дишлом причепа. Основною особливістю конструкції є поєднання пружного елемента та гумометалевого демпфера, що дозволяє одночасно компенсувати ударні навантаження та зменшувати амплітуду коливань у зоні агрегатування.

Конструкція пристрою включає такі основні елементи: корпус причіпного пристрою; тяговий шток; циліндричну гвинтову пружину стиску; гумометалевий демпфер; напрямні та упорні шайби; з’єднувальні пальці; кріпильні елементи.

Під час руху транспортного агрегату нерівностями дороги або в разі різкої зміни тягового зусилля динамічне навантаження від причепа передається на тяговий шток. У результаті цього пружний елемент деформується, частково компенсуючи ударне навантаження, тоді як гумометалевий демпфер забезпечує поглинання частини енергії коливань та зменшує інтенсивність їх передачі на трактор.

З метою забезпечення технологічності конструкції корпус пристрою передбачається виконати зварним, із застосуванням конструкційної сталі Ст3, що забезпечує достатню міцність та простоту виготовлення. Тяговий шток доцільно виготовляти зі сталі 45 з подальшим поліпшенням, оскільки він є одним із найбільш навантажених елементів конструкції.

Загальний вигляд удосконаленого причіпного пристрою наведено на рис. 3.1.



Поз.	Найменування	Кіл.	Матеріал	Примітка
1	Корпус	1	Ст3	Зварна деталь
2	Тяговий шток	1	Сталь 45	
3	Пружина стиску	1	60С2А	
4	Гумометалевий демпфер	1	Гума + Сталь	
5	Упорна шайба	4	Ст3	
6	Напрямна втулка	1	Сталь 45	
7	Палець з'єднання	2	Сталь 40Х	
8	Стопорна гайка	1	Сталь 35	

Рисунок 3.1 – Загальний вигляд удосконаленого пружно-демпфувального причіпного пристрою транспортного МТА

Запропонована конструкція забезпечує можливість встановлення пристрою без суттєвого переобладнання транспортного МТА, а також дозволяє проводити заміну окремих елементів у разі їх зношування. Важливою перевагою

є простота конструкції, що забезпечує можливість її виготовлення в умовах ремонтно-механічних майстерень аграрних підприємств.

Таким чином, у результаті конструктивного опрацювання розроблено загальну компоновку удосконаленого пружно-демпфувального причіпного пристрою, яка забезпечує зниження динамічних навантажень у зоні агрегатування транспортного МТА та може бути реалізована без значних змін базової конструкції трактора ХТЗ-17221 і причепа 2ПТС-6.

3.2 Конструктивне опрацювання основних елементів пружно-демпфувального причіпного пристрою

Після розроблення загальної компоновки удосконаленого причіпного пристрою необхідним етапом є конструктивне опрацювання його основних елементів з урахуванням умов експлуатації транспортного МТА, величини навантажень, технологічності виготовлення та забезпечення необхідної довговічності роботи.

Під час проєктування враховано, що конструкція повинна забезпечувати передачу розрахункового навантаження 8,1 кН, компенсувати динамічні навантаження, не ускладнювати процес агрегатування транспортного МТА та бути придатною до виготовлення в умовах ремонтно-механічних майстерень аграрних підприємств.

Основними елементами удосконаленого причіпного пристрою є: корпус; тяговий шток; пружний елемент; гумометалевий демпфер; напрямна втулка; упорні елементи; з’єднувальні пальці.

Корпус є базовим елементом конструкції, який забезпечує розміщення пружного та демпфувального елементів, а також сприймає частину навантажень, що виникають під час роботи пристрою. З огляду на характер навантаження та вимоги технологічності корпус доцільно виконати зварної конструкції зі сталі Ст3, яка характеризується достатньою міцністю, хорошою зварюваністю та доступністю.

Конструктивно корпус виконано у вигляді циліндричної оболонки із внутрішньою напрямною поверхнею для розміщення пружини та демпфера. У передній частині корпусу передбачено вузол кріплення до трактора, а у внутрішній порожнині — посадочні поверхні для встановлення напрямної втулки та упорних елементів. Робоче креслення корпусу наведено на рис. 3.2.

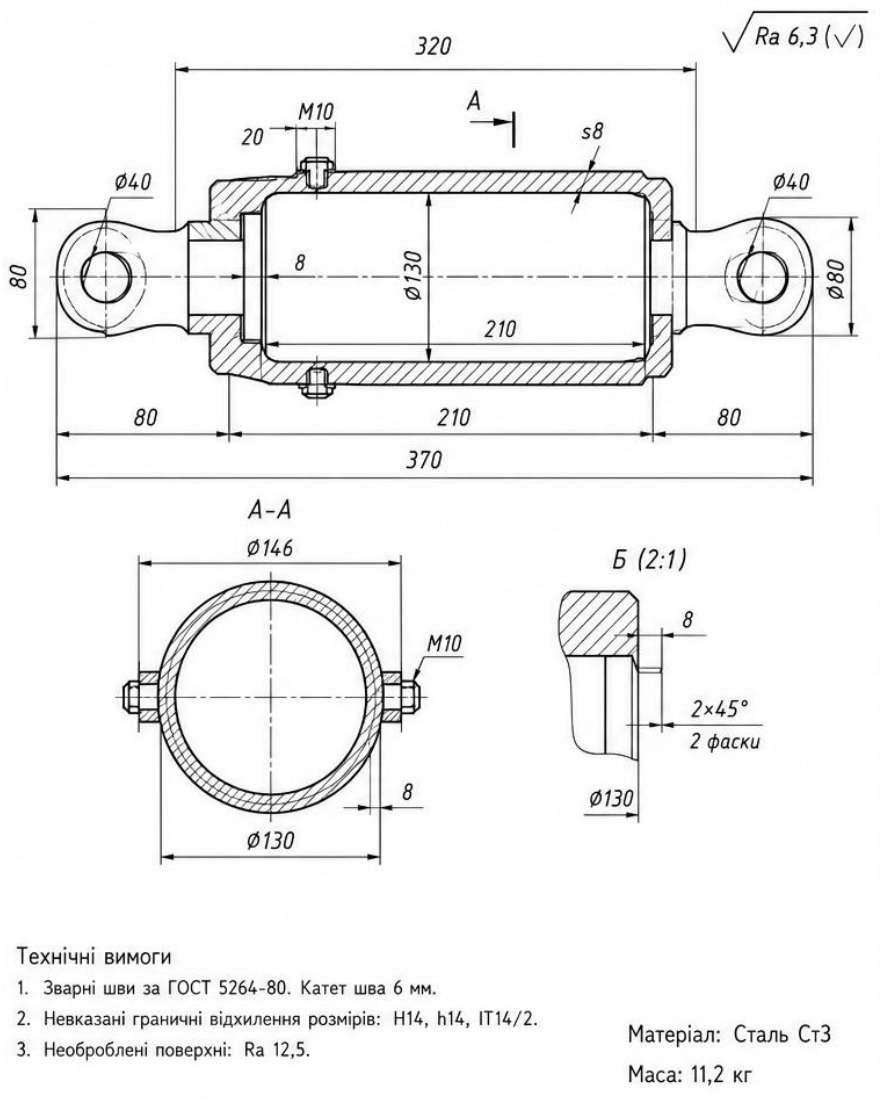


Рисунок 3.2 – Деталь «Корпус причіпного пристрою»

Для забезпечення достатньої жорсткості приймається товщина стінки корпусу 8 мм. а внутрішній діаметр корпусу 130 мм., що забезпечує вільне розміщення пружини діаметром 120 мм.

Тяговий шток є одним із найбільш навантажених елементів конструкції, через який здійснюється передача тягових і ударних навантажень від причепа до

трактора. З урахуванням циклічного характеру навантаження та вимог до міцності для виготовлення штока приймається сталь 45 із поліпшенням.

Допустиме напруження для сталі 45 після поліпшення приймається 160 МПа. Необхідна площа поперечного перерізу 50,6 мм. Діаметр штока 8,0 мм.

Оскільки шток працює в умовах знакозмінного навантаження та ударних впливів, вводиться запас міцності й конструктивно приймається 35 мм., що відповідає прийнятій конструкції демпфера та забезпечує достатню жорсткість елемента. Робоче креслення тягового штока наведено на рис. 3.3.

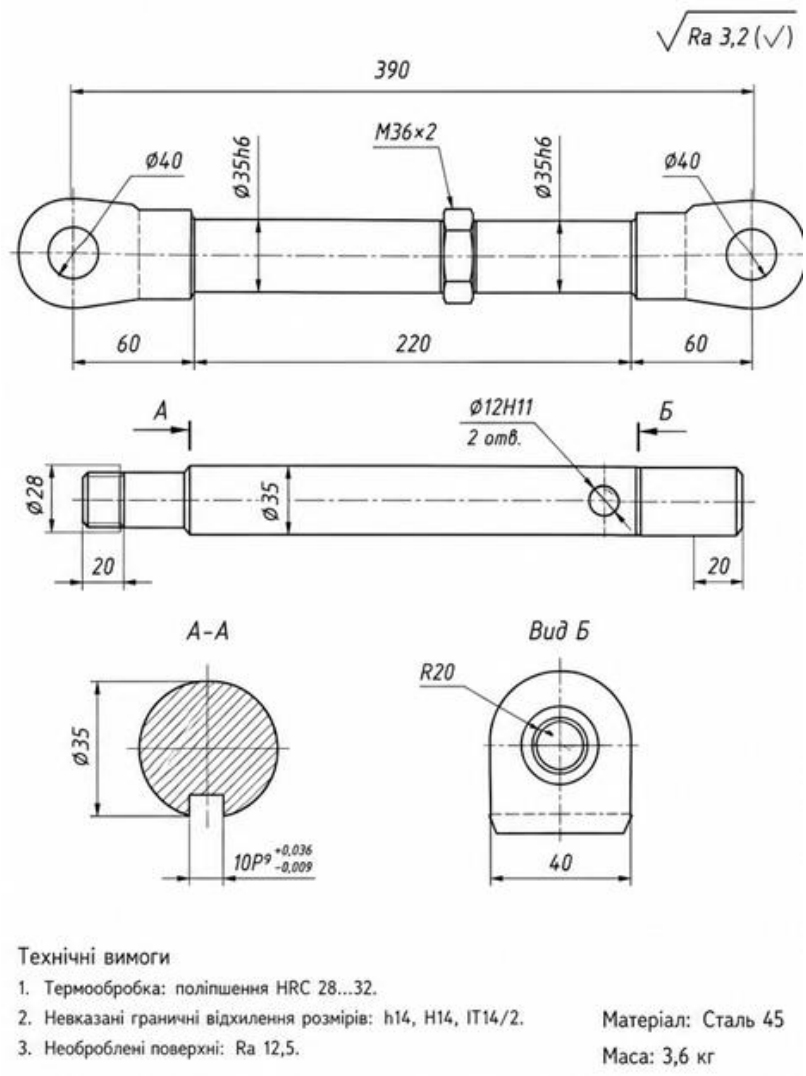


Рисунок 3.3 – Деталь «Тяговий шток»

Параметри пружного елемента та гумометалевого демпфера визначено у другому розділі дипломного проєкту. Пружина забезпечує компенсацію ударних навантажень у межах робочого ходу 60 мм, а гумометалевий демпфер — поглинання енергії коливань.

Конструктивне розміщення зазначених елементів у корпусі забезпечує послідовну передачу навантаження через пружний і демпфувальний вузли, що дозволяє зменшити рівень динамічних навантажень у зоні агрегатування транспортного МТА.

Таким чином, у результаті конструктивного опрацювання основних елементів удосконаленого причіпного пристрою визначено раціональні матеріали, геометричні параметри та конструктивні рішення, що забезпечують працездатність конструкції та можливість її виготовлення в умовах аграрного виробництва.

3.3. Опис принципу роботи удосконаленого пружно-демпфувального причіпного пристрою

Ефективність запропонованого пружно-демпфувального причіпного пристрою визначається особливостями його роботи в умовах змінних навантажень, які виникають під час руху транспортного машинно-тракторного агрегату нерівностями дороги, розгону, гальмування або зміни тягового режиму. Основним призначенням конструкції є зменшення динамічних навантажень у зоні агрегатування трактора з причепом та покращення плавності руху транспортного МТА.

Принцип роботи удосконаленого причіпного пристрою базується на послідовній компенсації ударних навантажень пружним елементом та поглинанні енергії коливань гумометалевим демпфером. У серійній конструкції жорсткого причіпного пристрою ударні навантаження від причепа практично безпосередньо передаються на трактор, що призводить до підвищення вібраційного навантаження, збільшення амплітуди коливань і прискореного зношування елементів транспортного агрегату.

У запропонованій конструкції під час виникнення поздовжнього динамічного навантаження з боку причепа тягове зусилля передається через з’єднувальний палець на тяговий шток, який переміщується відносно корпуса пристрою. Унаслідок цього відбувається деформація циліндричної гвинтової

пружини, яка частково компенсує ударне навантаження, зменшуючи пікові значення сили, що передається на трактор.

Одночасно з деформацією пружного елемента в роботу вступає гумометалевий демпфер, який забезпечує гасіння коливань за рахунок внутрішнього опору еластомерного матеріалу. Під дією циклічного навантаження гумовий елемент деформується, частково поглинаючи механічну енергію та переводячи її у теплову, що сприяє зменшенню інтенсивності коливальних процесів у транспортному агрегаті. Принцип роботи удосконаленого пристрою наведено на рис. 3.4.

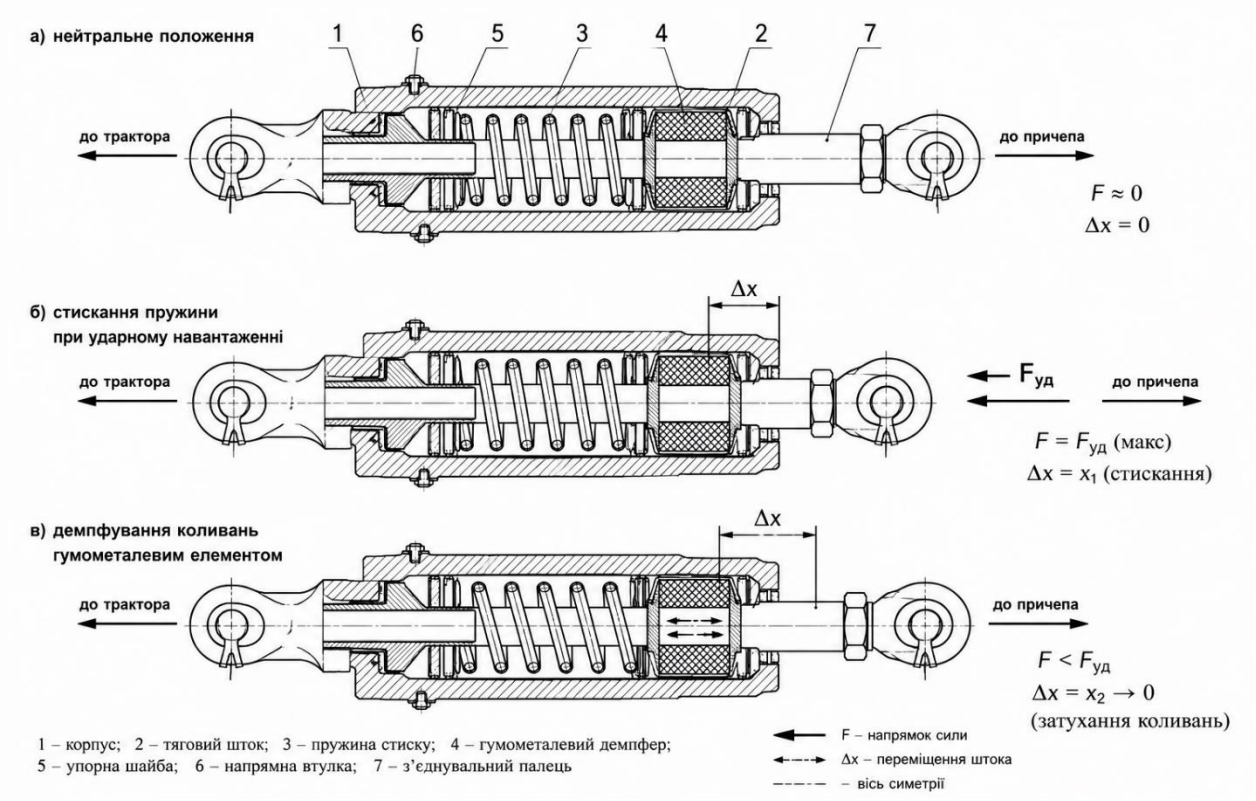


Рисунок 3.4 – Схема роботи пружно-демпфувального причіпного пристрою під навантаженням

У нейтральному положенні (рис. 3.4, а) пружний і демпфувальний елементи перебувають у ненавантаженому стані, а тягове навантаження передається без значної деформації елементів конструкції.

Під час різкого зростання навантаження, наприклад при русі нерівностями дороги або при короткочасному ривку причепа, відбувається стискання пружного елемента (рис. 3.4, б), унаслідок чого частина механічної енергії

накопичується у вигляді потенційної енергії деформації пружини. Це сприяє зменшенню пікових навантажень у зоні агрегатування.

Після проходження ударного навантаження гумометалевий демпфер забезпечує поступове затухання коливань (рис. 3.4, в), запобігаючи виникненню повторних ударів між трактором і причепом. Завдяки цьому покращується плавність руху транспортного агрегату та зменшується інтенсивність навантаження на елементи конструкції.

Для оцінювання ефективності передачі навантаження використовується коефіцієнт демпфування коливань, наведений у підрозділі 2.4, а також результати оцінювання плавності руху, отримані в підрозділі 2.6, згідно з якими очікуване зниження амплітуди коливань транспортного МТА становить близько 18 %, а динамічних навантажень у зоні зчіпки — близько 22 %.

Таким чином, удосконалений пружно-демпфувальний причіпний пристрій забезпечує більш плавну передачу тягового навантаження між трактором і причепом, знижує інтенсивність ударних навантажень та сприяє покращенню плавності руху транспортного МТА ХТЗ-17221 + 2ПТС-6.

3.4. Перевірка міцності найбільш навантажених елементів конструкції

Одним із завершальних етапів конструктивного опрацювання удосконаленого пружно-демпфувального причіпного пристрою є перевірка міцності найбільш навантажених елементів конструкції. Основна мета розрахунку полягає у підтвердженні працездатності елементів за умов дії розрахункового навантаження та забезпеченні необхідного запасу міцності в процесі експлуатації транспортного МТА.

З урахуванням конструктивної схеми пристрою найбільш навантаженими елементами є: тяговий шток; корпус пристрою; з’єднувальний палець.

Для перевірочних розрахунків використовуємо розрахункове навантаження, визначене у п. 2.2 (8,1 кН).

Тяговий шток працює переважно на осьовий розтяг, тому перевірку виконуємо за нормальними напруженнями:

$$\sigma = \frac{F_p}{A}, \tag{3.1}$$

де σ – нормальне напруження, МПа; F_p – розрахункове навантаження, Н;

A – площа поперечного перерізу штока, мм².

Нормальне напруження:

$$\sigma = \frac{8100}{962} = 8,42\,МПа$$

Для сталі 45 після поліпшення допустиме напруження становить 160 МПа. Умова міцності $\sigma<[\sigma] = 8,42<160$ умова виконується.

Коефіцієнт запасу міцності:

$$n = \frac{160}{8,42} = 19$$

Отримане значення підтверджує значний запас міцності тягового штока.

Палець працює на подвійний зріз, тому перевірка виконується за дотичними напруженнями:

$$\tau = \frac{F_p}{2A}, \tag{3.2}$$

де τ – напруження зрізу, МПа.

Приймаємо діаметр пальця 40 мм. Площа зрізу 1256 мм.

Тоді:

$$\tau = \frac{8100}{2 \cdot 1256} = 3,22\,МПа$$

Допустиме напруження зрізу для сталі 40Х - 90 МПа. Перевірка - 3,22<90 умова міцності виконується.

Корпус працює переважно на стиск і локальні контактні навантаження. З урахуванням товщини стінки 8 мм. та конструктивної схеми пристрою прийняті геометричні параметри забезпечують достатню жорсткість конструкції. Оскільки максимальні напруження в корпусі суттєво нижчі за допустимі для сталі Ст3 140 МПа умову міцності вважаємо виконаною.

Для узагальнення результатів перевірки міцності найбільш навантажених елементів використано табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати перевірки міцності елементів конструкції

Елемент	Розрахункове напруження, МПа	Допустиме напруження, МПа	Результат
Тяговий шток	8,42	160	умова виконується
Палець	3,22	90	умова виконується
Корпус	<140	140	умова виконується

Таким чином, результати перевірочного розрахунку підтвердили працездатність основних елементів удосконаленого пружно-демпфувального причіпного пристрою за умов дії розрахункового навантаження 8,1 кН. Найбільш навантажені елементи конструкції мають достатній запас міцності, що свідчить про можливість практичного використання запропонованого технічного рішення в транспортному МТА ХТЗ-17221 + 2ПТС-6.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі дипломного проєкту виконано конструктивне опрацювання удосконаленого пружно-демпфувального причіпного пристрою транспортного МТА на базі трактора ХТЗ-17221 з причепом 2ПТС-6. На основі результатів розрахунків, отриманих у другому розділі, розроблено загальну конструктивну схему пристрою, яка забезпечує зниження динамічних навантажень у зоні агрегатування та покращення плавності руху транспортного агрегату.

Установлено, що найбільш доцільною є конструкція комбінованого пружно-демпфувального причіпного пристрою, яка поєднує циліндричну гвинтову пружину стиску та гумометалевий демпфер осьового стиску. Запропонована компоновка забезпечує послідовну компенсацію ударних навантажень і поглинання енергії коливань, що виникають під час руху транспортного МТА нерівностями дороги.

У результаті конструктивного опрацювання визначено основні елементи пристрою, їх геометричні параметри та матеріали виготовлення. Корпус причіпного пристрою запропоновано виконати у вигляді зварної конструкції зі сталі Ст3, тяговий шток — зі сталі 45 з поліпшенням, а з'єднувальні пальці — зі сталі 40Х, що забезпечує необхідні міцнісні характеристики та технологічність виготовлення.

Розроблено складальне креслення удосконаленого причіпного пристрою, а також робочі креслення його найбільш відповідальних деталей — корпуса та тягового штока. Запропоновані конструктивні рішення відповідають вимогам технологічності, ремонтопридатності та можуть бути реалізовані без суттєвого переобладнання транспортного МТА.

Виконаний аналіз принципу роботи пристрою показав, що в процесі експлуатації ударні навантаження від причепа спочатку компенсуються деформацією пружного елемента, після чого гумометалевий демпфер забезпечує затухання коливальних процесів. Це сприяє зменшенню інтенсивності передачі динамічних навантажень між трактором і причепом.

Проведені перевірочні розрахунки підтвердили достатню міцність найбільш навантажених елементів конструкції. Встановлено, що максимальні розрахункові напруження в тяговому штоку та з'єднувальному пальці є значно меншими за допустимі значення, а коефіцієнт запасу міцності забезпечує надійну роботу пристрою в умовах експлуатаційних навантажень.

Отримані результати підтверджують працездатність та доцільність використання удосконаленого пружно-демпфувального причіпного пристрою в складі транспортного МТА ХТЗ-17221 + 2ПТС-6 і є підставою для оцінювання економічної ефективності його впровадження та розроблення заходів з охорони праці у наступному розділі дипломного проєкту.

РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРУЖНО-ДЕМПФУВАЛЬНОГО ПРИЧІПНОГО ПРИСТРОЮ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Обґрунтування економічної доцільності та розрахунок витрат на виготовлення пружно-демпфувального причіпного пристрою

Одним із важливих критеріїв доцільності впровадження удосконаленого пружно-демпфувального причіпного пристрою транспортного МТА є його економічна ефективність. Використання запропонованої конструкції повинно забезпечувати не лише покращення плавності руху та зменшення динамічних навантажень, але й бути економічно виправданим в умовах експлуатації аграрного підприємства.

Економічний ефект від впровадження пружно-демпфувального причіпного пристрою формується за рахунок: зниження динамічних навантажень у зоні агрегатування; зменшення інтенсивності зношування причіпного механізму; зниження витрат на ремонт елементів зчіпки; підвищення ресурсу трактора та причепа; зменшення непродуктивних простоїв техніки; покращення умов роботи механізатора.

Згідно з результатами, отриманими у другому розділі дипломного проєкту, використання пружно-демпфувального пристрою дозволяє знизити динамічне навантаження приблизно на 22 %, а амплітуду коливань — на 18 %, що позитивно впливає на довговічність транспортного агрегату.

Для оцінювання економічної доцільності впровадження конструкції необхідно визначити вартість виготовлення пристрою.

Вартість основних матеріалів визначаємо за залежністю:

$$C_м = \sum m_i \cdot c_i , \tag{4.1}$$

де $C_м$ – загальна вартість матеріалів, грн; m_i – маса матеріалу, кг; c_i – вартість 1 кг матеріалу, грн/кг.

Для розрахунку приймаємо: конструкційна сталь — 65 грн/кг; пружинна сталь — 95 грн/кг; гумометалевий демпфер — 1800 грн; кріпильні елементи — 450 грн. Результати розрахунку матеріальних витрат наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Витрати на виготовлення пружно-демпфувального причіпного пристрою

Стаття витрат	Вартість, грн
Корпус (Ст3)	980
Тяговий шток (сталь 45)	620
Пружина стиску	1350
Гумометалевий демпфер	1800
Кріпильні елементи	450
Механічна обробка	2100
Зварювальні роботи	950
Складання	700
Разом	**8950**

Отже, орієнтовна собівартість виготовлення пружно-демпфувального причіпного пристрою становить:

$$C_{виг} = 8950\,грн.$$

Для наочності структура витрат наведена на рис. 4.1.

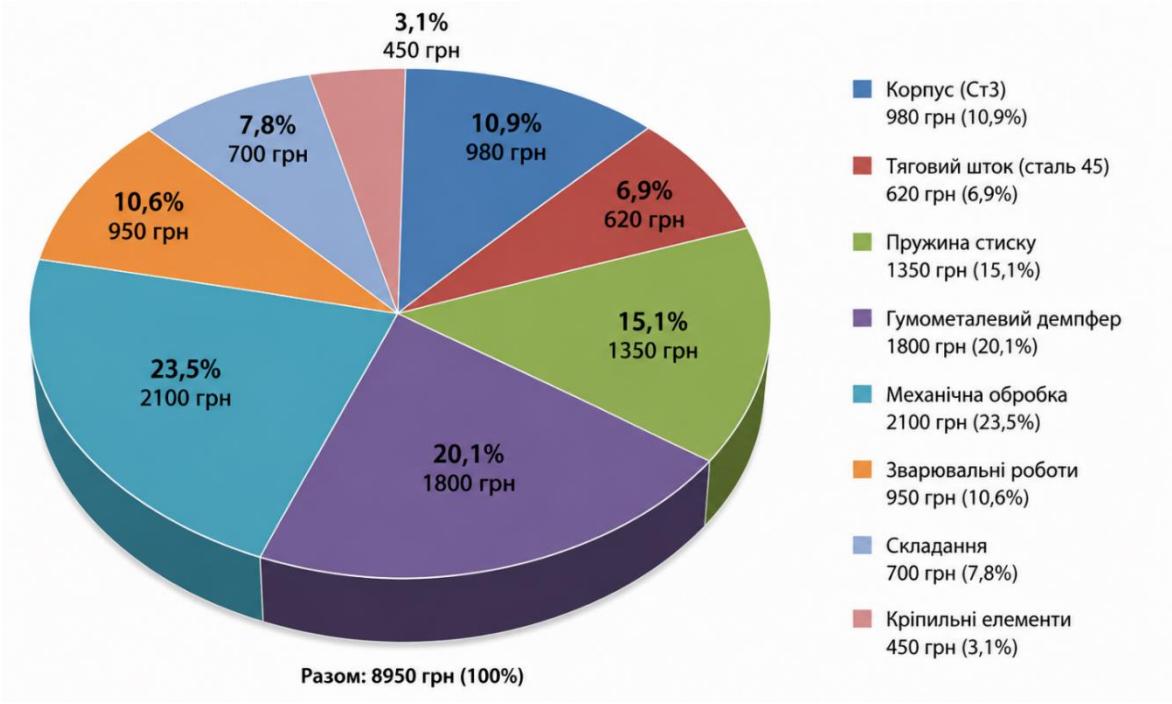


Рисунок 4.1 – Структура витрат на виготовлення пружно-демпфувального причіпного пристрою

Таким чином, запропонована конструкція має помірну вартість виготовлення та може бути реалізована в умовах ремонтно-механічних майстерень аграрних підприємств без значних капітальних вкладень. Отримані результати є основою для подальшого визначення річного економічного ефекту та строку окупності пристрою.

4.2 Оцінка річного економічного ефекту від використання пружно-демпфувального причіпного пристрою

Одним із головних показників доцільності впровадження удосконаленого пружно-демпфувального причіпного пристрою є величина економічного ефекту, який забезпечується в процесі експлуатації транспортного МТА. Економічна ефективність запропонованого технічного рішення формується за рахунок зменшення інтенсивності динамічних навантажень у зоні агрегатування, що сприяє підвищенню довговічності елементів транспортного агрегату, зниженню витрат на ремонт і технічне обслуговування, а також зменшенню непродуктивних простоїв техніки.

У даному дипломному проєкті економічний ефект оцінюється шляхом порівняння експлуатаційних витрат транспортного агрегату до та після впровадження пружно-демпфувального причіпного пристрою. Річне напрацювання транспортного МТА приймається 850 год.

Враховуючи отримане у другому розділі зниження динамічного навантаження приблизно на 22 %, приймаємо, що використання удосконаленого пристрою дозволяє зменшити витрати на ремонт і технічне обслуговування вузлів агрегатування та причіпного механізму орієнтовно на 15 %.

За умовами господарства приймаємо середньорічні витрати на ремонт і технічне обслуговування транспортного МТА:

$$C_{рем} = 18000\, грн\,/\,рік.$$

Тоді річна економія коштів становитиме:

$$E_р = C_{рем} \cdot k_{ек}., \tag{4.2}$$

де $E_р$ – річна економія коштів, грн/рік; $C_{рем}$ – річні витрати на ремонт, грн;

$k_{ек}$ – коефіцієнт економії.

Приймаємо $k_{ек} = 0,15$.

Після підстановки:

$$E_р = 18000 \cdot 0,15 = 2700\, грн\,/\, рік.$$

Річний економічний ефект визначається як різниця між річною економією та витратами, пов’язаними з виготовленням пристрою:

$$E_{еф} = E_р, \tag{4.3}$$

Оскільки додаткові експлуатаційні витрати практично відсутні, приймаємо:

$$E_{еф} = 2700\, грн\,/\, рік.$$

Строк окупності визначається за залежністю:

$$T_{ок} = \frac{C_{виг}}{E_{еф}}, \tag{4.4}$$

де $T_{ок}$ – строк окупності, років; $C_{виг}$ – вартість виготовлення пристрою, грн; $E_{еф}$ – річний економічний ефект, грн/рік.

Після підстановки:

$$T_{ок} = \frac{8950}{2700} = 3,31\, року.$$

Коефіцієнт економічної ефективності:

$$K_е = \frac{1}{T_{ок}}, \tag{4.5}$$

Після розрахунку:

$$K_е = \frac{1}{3,31} = 0,30.$$

Отримане значення свідчить про економічну доцільність впровадження удосконаленого причіпного пристрою, оскільки нормативний коефіцієнт ефективності для технічних рішень у сільському господарстві зазвичай становить:

$$K_н = 0,15 \ldots 0,20.$$

Для наочності динаміка накопиченого економічного ефекту наведена на рис. 4.2.

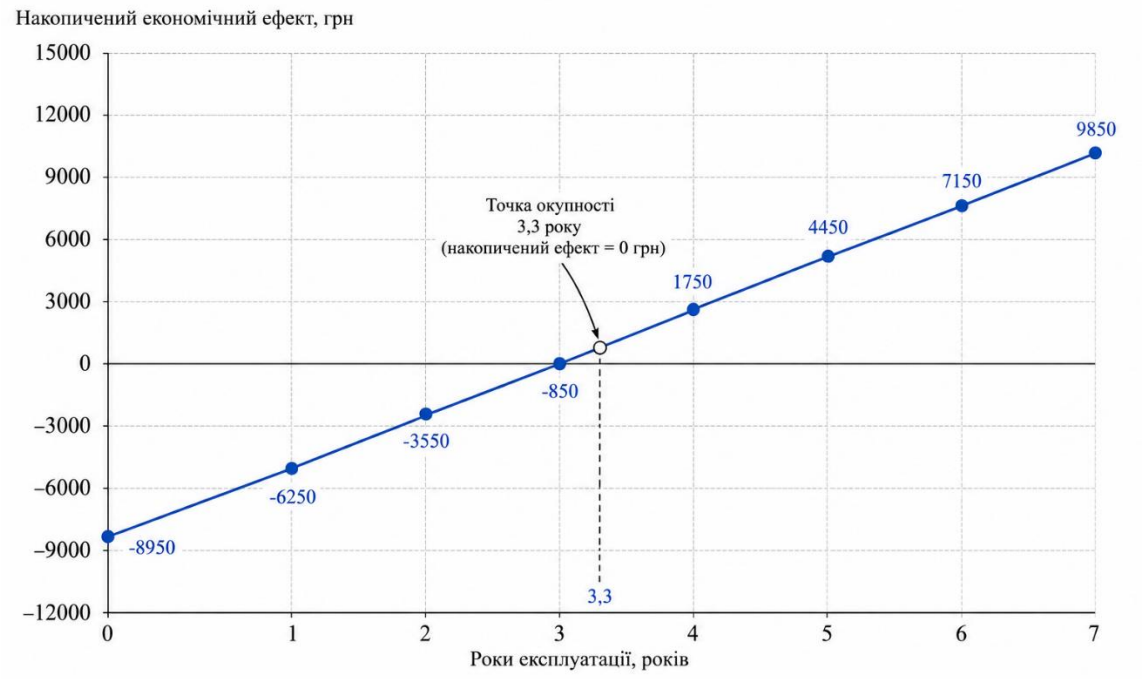


Рисунок 4.2 – Графік накопиченого економічного ефекту від використання пружно-демпфувального причіпного пристрою

Залежність строку окупності від річного напрацювання транспортного агрегату наведена на рис. 4.3.

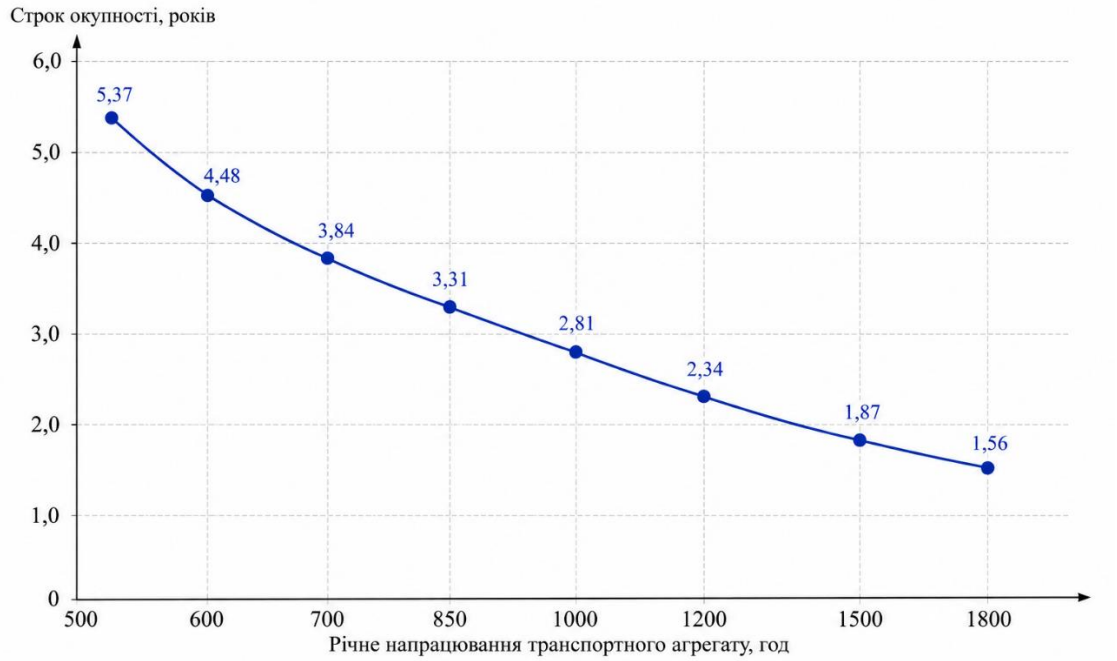


Рисунок 4.3 – Залежність строку окупності від річного напрацювання транспортного агрегату

Таким чином, установлено, що застосування пружно-демпфувального причіпного пристрою транспортного МТА ХТЗ-17221 + 2ПТС-6 є економічно доцільним. Річний економічний ефект становить близько 2700 грн, а строк окупності запропонованого технічного рішення — 3,3 року, що підтверджує ефективність його впровадження в умовах аграрного виробництва.

4.3. Заходи з охорони праці при експлуатації транспортного МТА з удосконаленим причіпним пристроєм

Експлуатація транспортного машинно-тракторного агрегату на базі трактора ХТЗ-17221 з причепом 2ПТС-6 пов’язана з дією комплексу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть негативно впливати на безпеку механізатора, технічний стан агрегату та загальну ефективність виконання транспортних робіт. Упровадження удосконаленого пружно-демпфувального причіпного пристрою потребує дотримання додаткових вимог безпеки, пов’язаних із роботою пружних і демпфувальних елементів конструкції.

Основними небезпечними факторами під час експлуатації транспортного МТА є рухомі частини транспортного агрегату; підвищені динамічні навантаження в зоні зчіпки; можливість руйнування елементів причіпного пристрою при перевантаженні; підвищений рівень вібрації та шуму; ризик самовільного роз’єднання транспортного агрегату; небезпека травмування під час агрегатування трактора з причепом.

Під час роботи з удосконаленим причіпним пристроєм особливу увагу необхідно приділяти справності пружного та демпфувального елементів, оскільки їх пошкодження або надмірне зношування може призвести до погіршення плавності руху та виникнення аварійних навантажень у зоні агрегатування.

Перед початком роботи механізатор повинен виконувати візуальний контроль технічного стану пристрою, зокрема перевіряти: відсутність тріщин і деформацій корпуса; справність тягового штока; стан пружини та відсутність її

залишкової деформації; цілісність гумометалевого демпфера; надійність кріплення з’єднувальних пальців; справність стопорних елементів.

Агрегатування транспортного МТА необхідно виконувати лише на рівному майданчику за умови повної зупинки трактора та вимкненого двигуна. Під час з’єднання причепа із трактором забороняється перебування людей між трактором і причепом у момент подавання транспортного засобу назад.

Особливу небезпеку становить пружний елемент причіпного пристрою, який перебуває під навантаженням. Розбирання конструкції допускається лише після повного зняття механічного навантаження та фіксації елементів пристрою спеціальними упорами. Забороняється демонтаж пружини без використання пристроїв, що виключають її неконтрольоване вивільнення.

Під час руху транспортного агрегату необхідно: дотримуватися допустимих швидкісних режимів; уникати різких розгонів і гальмувань; не перевищувати допустиму вантажопідйомність причепа 2ПТС-6; контролювати стан зчіпного пристрою під час тривалих транспортних робіт.

Важливим заходом з охорони праці є зниження вібраційного навантаження на механізатора. Застосування пружно-демпфувального причіпного пристрою дозволяє зменшити амплітуду коливань транспортного МТА приблизно на 18 %, що позитивно впливає на умови праці оператора та сприяє зниженню втомлюваності під час виконання транспортних операцій.

Для наочності основні небезпечні фактори та відповідні заходи безпеки наведено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Небезпечні фактори та заходи безпеки при експлуатації транспортного МТА

Небезпечний фактор	Можливі наслідки	Заходи безпеки
Руйнування елементів причіпного пристрою	Травмування, аварія	Регулярний технічний контроль
Вібраційне навантаження	Втома механізатора	Використання демпфувального пристрою

Самовільне роз’єднання	Пошкодження техніки	Контроль фіксації пальців
Перевантаження причепа	Пошкодження конструкції	Дотримання норм навантаження
Ремонт пружини під навантаженням	Травмування персоналу	Повне розвантаження вузла

Таким чином, дотримання вимог охорони праці під час експлуатації транспортного МТА з удосконаленим пружно-демпфувальним причіпним пристроєм забезпечує безпечні умови роботи механізатора, підвищує надійність транспортного агрегату та знижує ризик виникнення аварійних ситуацій у процесі виконання транспортних робіт.

4.4. Заходи безпеки та екологічності під час технічного обслуговування причіпного пристрою

Технічне обслуговування пружно-демпфувального причіпного пристрою повинно здійснюватися з дотриманням вимог безпеки праці та мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище. Основними операціями технічного обслуговування є огляд стану корпуса, перевірка пружного елемента, контроль зношування тягового штока, перевірка справності гумометалевого демпфера та стану з’єднувальних елементів.

Перед проведенням ремонтних робіт транспортний агрегат необхідно встановити на рівному майданчику, заглушити двигун трактора та виключити можливість самовільного переміщення техніки. Особливу увагу слід приділяти безпечному демонтажу пружини, яка може перебувати під залишковим навантаженням. Роботи необхідно виконувати із застосуванням фіксувальних пристроїв та штатного інструменту.

Під час виконання зварювальних і механічних робіт працівники повинні використовувати засоби індивідуального захисту: захисні окуляри, рукавиці, спецодяг і взуття. У разі проведення зварювання необхідно дотримуватися

правил пожежної безпеки та забезпечити наявність первинних засобів пожежогасіння.

Екологічна безпека під час технічного обслуговування забезпечується недопущенням забруднення ґрунту та виробничих майданчиків мастильними матеріалами й металевими відходами. Зношені гумометалеві елементи, залишки мастил і металобрухт повинні передаватися на спеціалізовану утилізацію відповідно до чинних вимог екологічної безпеки.

Таким чином, дотримання вимог безпеки під час технічного обслуговування пружно-демпфувального причіпного пристрою сприяє підвищенню надійності роботи транспортного МТА, запобігає травмуванню персоналу та забезпечує зниження негативного впливу на навколишнє середовище.

Висновки до розділу 4

У четвертому розділі дипломного проєкту виконано оцінювання економічної доцільності впровадження удосконаленого пружно-демпфувального причіпного пристрою транспортного МТА та розроблено заходи з охорони праці при його експлуатації.

Установлено, що орієнтовна вартість виготовлення пристрою становить 8950 грн, а річний економічний ефект від його використання — близько 2700 грн. Розрахований строк окупності становить приблизно 3,3 року, що підтверджує економічну доцільність запропонованого технічного рішення.

Розроблено комплекс організаційних і технічних заходів з охорони праці, спрямованих на забезпечення безпечної експлуатації транспортного МТА з удосконаленим причіпним пристроєм. Особливу увагу приділено безпеці агрегатування, контролю технічного стану пружного та демпфувального елементів, а також безпечному виконанню технічного обслуговування.

ВИСНОВКИ

У дипломному проєкті вирішено актуальне інженерне завдання щодо покращення плавності руху трактора у складі транспортного машинно-тракторного агрегату шляхом удосконалення причіпного пристрою транспортного МТА на базі трактора ХТЗ-17221 з причепом 2ПТС-6.

Проведено аналіз умов експлуатації транспортних машинно-тракторних агрегатів та встановлено, що одним із основних чинників погіршення плавності руху є значні динамічні навантаження в зоні агрегатування, які виникають під час руху нерівностями дороги та спричиняють підвищення вібраційного навантаження і зношування вузлів транспортного МТА.

Виконано інженерне обґрунтування параметрів пружно-демпфувального причіпного пристрою. Установлено, що для транспортного МТА ХТЗ-17221 + 2ПТС-6 доцільним є використання циліндричної гвинтової пружини зі жорсткістю 135 кН/м, діаметром дроту 18 мм, середнім діаметром 120 мм та гумометалевого демпфера з коефіцієнтом демпфування 22000 Н·с/м, який забезпечує силу демпфування 5,5 кН.

Розроблено конструкцію удосконаленого пружно-демпфувального причіпного пристрою, що поєднує пружний та демпфувальний елементи, виконано складальне і робочі креслення основних деталей, а також підтверджено працездатність конструкції перевірочними розрахунками міцності, які показали достатній запас міцності найбільш навантажених елементів.

Установлено, що використання запропонованого причіпного пристрою дозволяє знизити динамічні навантаження в зоні агрегатування приблизно на 22 %, а амплітуду коливань транспортного МТА — приблизно на 18 %, що сприяє покращенню плавності руху, підвищенню довговічності вузлів агрегату та покращенню умов праці механізатора.

Виконано оцінювання економічної ефективності впровадження удосконаленого причіпного пристрою та встановлено, що за вартості виготовлення 8950 грн річний економічний ефект становить близько 2700 грн, а

строк окупності — 3,3 року, що підтверджує економічну доцільність запропонованого технічного рішення.

Запропонована конструкція пружно-демпфувального причіпного пристрою для транспортного МТА на базі трактора ХТЗ-17221 з причепом 2ПТС-6 забезпечує покращення плавності руху, зменшення динамічних навантажень у зоні агрегатування, підвищення надійності експлуатації транспортного агрегату та є технічно й економічно доцільною для впровадження в умовах аграрного виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Singh A., Gautam Y., Chandel N. S., et al. Internet of agriculture: Analyzing and predicting tractor ride comfort using Internet of Things and machine learning // Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2023. Vol. 126. Article 107130.
2. Singh A., Gautam Y., Chandel N. S., et al. Real-time vibration monitoring and analysis of agricultural tractor operators during field operations // Journal of Field Robotics. 2023. Vol. 40, No. 8. P. 1351–1372.
3. Barač Ž., Jurić M., Plaščak I., Marković M. Assessing whole-body vibrations in an agricultural tractor based on selected operational parameters: A machine learning-based approach // Agriculture. 2025. Vol. 15, No. 3. Article 428.
4. Chen X., Li Y., Wang H., et al. Review of agricultural machinery seat semi-active suspension systems for ride comfort improvement // Machines. 2025. Vol. 13, No. 3. Article 246.
5. Bhandari S., Saha P., Kumar R. Analysis and mitigation of vibrations in front loader agricultural tractors // Technologies. 2025. Vol. 7, No. 9. Article 276.
6. Watanabe M., Sakai K. Investigation of tractor steering instability and overturning risks by driving simulation // Agriculture. 2021. Vol. 11, No. 2. Article 70.
7. Міністерство освіти і науки України. Стандарт вищої освіти України першого (бакалаврського) рівня галузі знань 20 «Аграрні науки та продовольство», спеціальність 208 «Агроінженерія». Київ, 2021.
8. Методичні рекомендації до виконання дипломних проєктів бакалавра спеціальності 208 «Агроінженерія». Київ: НУБіП України, 2024.
9. Закон України «Про охорону праці» : чинна редакція станом на 2026 рік.
10. Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві : НПАОП 01.0-1.02-18. Чинна редакція.
11. ДСТУ ISO 4254-1:2014. Машини сільськогосподарські. Вимоги безпеки. Частина 1. Загальні вимоги.

12. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання.
13. ДСТУ 2296:2005. Трактори сільськогосподарські. Терміни та визначення понять.
14. Трактор ХТЗ-17221-18. Керівництво з експлуатації. Харків: ПАТ «Харківський тракторний завод».
15. Трактор ХТЗ-17221-18. Каталог деталей і складальних одиниць. Харків: ПАТ «Харківський тракторний завод».
16. Причіп тракторний 2ПТС-6. Інструкція з експлуатації. Оріхів: Оріхівсільмаш.
17. Причіп тракторний 2ПТС-6. Технічні характеристики та рекомендації щодо експлуатації. Оріхів: Оріхівсільмаш.
18. Comparative analysis of tractor ride vibration according to suspension system configuration // Biosystems Engineering. 2022. Vol. 220. P. 84–97.

ДОДАТКИ

Графічний матеріал

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет механіко-технологічний

Кафедра тракторів і автомобілів

ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ БАКАЛАВРА
на тему:

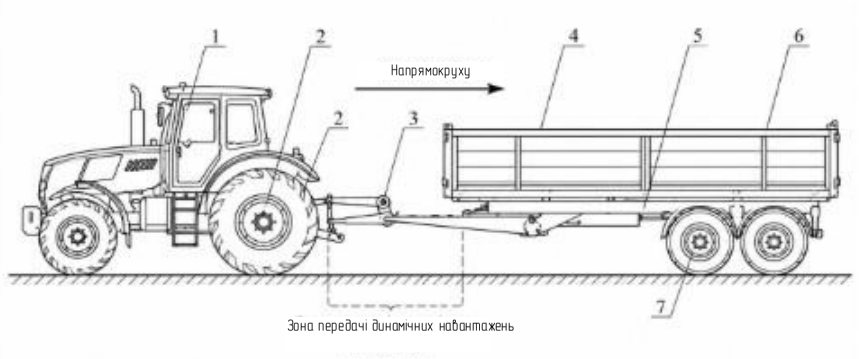
«ПОКРАЩЕННЯ ПЛАВНОСТІ РУХУ ТРАКТОРА У СКЛАДІ ТРАНСПОРТНОГО МТА»

Куницький Денис Вікторович

Керівник дипломного проекту доцент, к.т.н., *Павленко М.Ю.*

Київ 2026

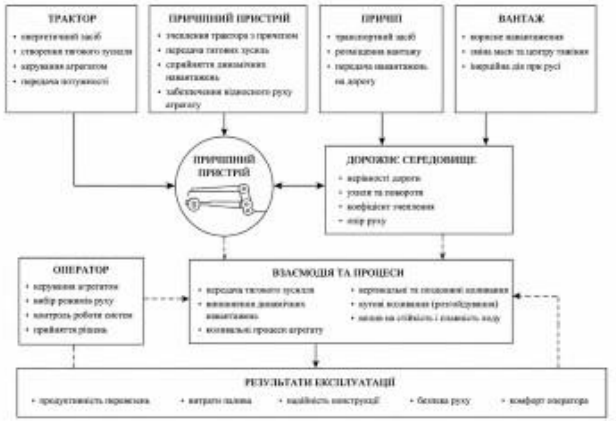
Схема транспортного МТА на базі трактора ХТЗ-17221 з причепом 2ПТС-6



Умовні позначення

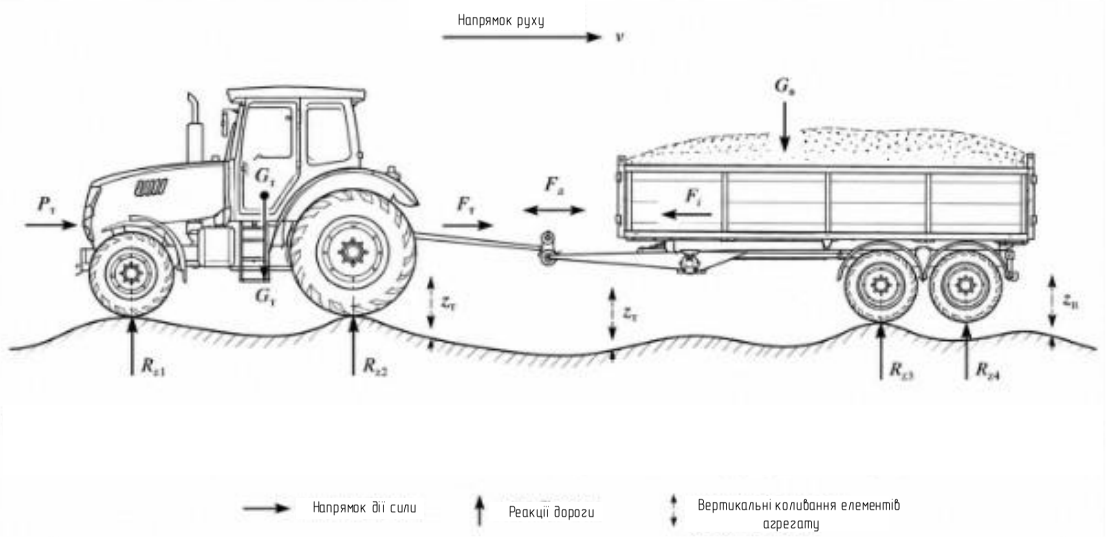
1 трактор ХТЗ-17221;
2 задній міст трактора
3 причіпний пристрій;
4 причіп 2ПТС-6;
5 ходова система причепа
6 вантаж;
7 вісь

Структура транспортного машинно-тракторного агрегату



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	01.08 ДП 510 «С» 2026.02.16.72 ПЗ		
Розробив		Куницький			ТРАНСПОРТНИЙ МАШИННО-ТРАКТОРНИЙ АГРЕГАТ	Літ.	Арк. 1 / Акрушів 9
Перевірив		Павленко					
Н.контр.		Калінін				НУБіП України	
Затв.							

Схема взаємодії сил у транспортному МТА під час руху нерівностями дороги



Умовні позначення

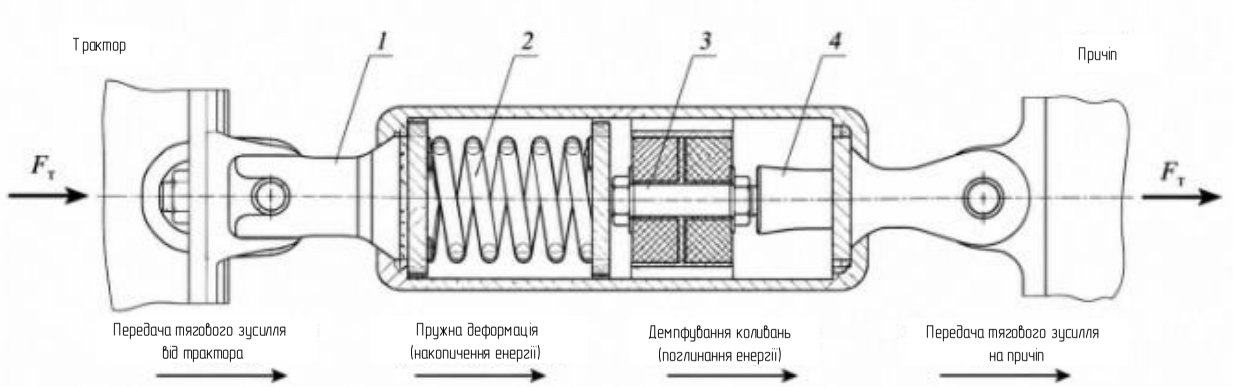
$P_т$ тягове зусилля трактора;
$F_д$ динамічне навантаження в зоні зчіпки;
$F_т$ сила тяги на гаку трактора;
$G_т$ вага трактора;
$G_в$ вага вантажу;
R_{z1} R_{z4} вертикальні реакції дорожнього покриття;
$z_т$, $z_п$ вертикальні коливання трактора та причепа;
v швидкість руху транспортного агрегату.

Динамічна сила, що передається через пружний елемент

$$F_п = k \cdot \Delta x \qquad (1)$$

де $F_п$ сила пружного елемента, Н; k жорсткість пружини, Н/м; Δx деформація пружного елемента, м.

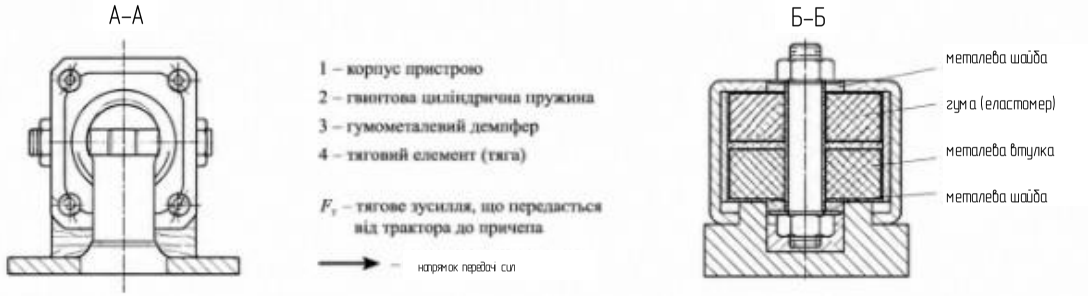
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	01.08 ДП.510 «С» 2026.02.16.72 ПЗ		
Розробив		Куницький			ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ У ТРАНСПОРТНОМУ МТА	Літ.	Арк. 2 / Акрушів 9
Перевірив		Павленко					
Н.контр.		Калінін				НУБіП України	
Затв.							



Принципова схема пружно-демпфувального причіпного пристрою транспортного МТА

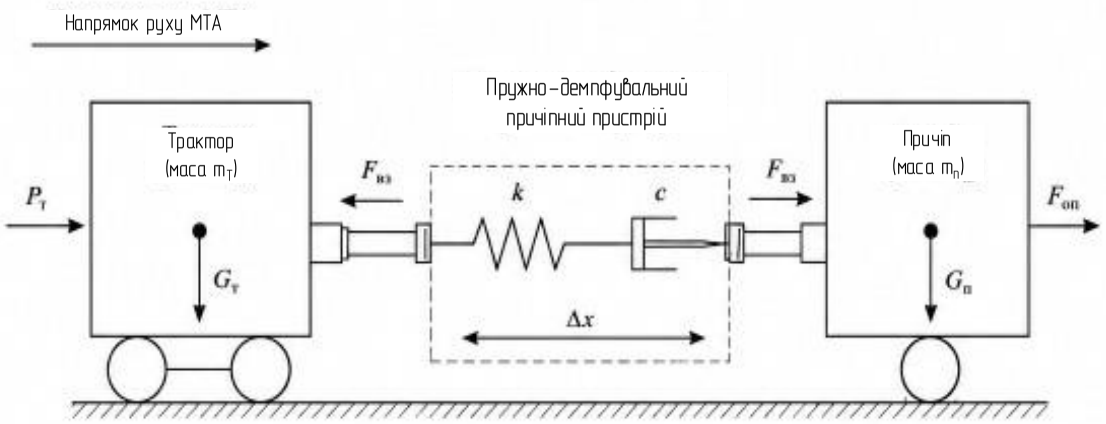
Умовні позначення:

1 корпус пристрою
2 гвинтова циліндрична пружина
3 гумометалевий демпфер
4 тяговий елемент (тяга)
$F_т$ тягове зусилля, що передається від трактора до причепа



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	01.08 ДП.510 «С» 2026.02.16.72 ПЗ		
Розробив.		Киницький			УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИЧІПНОГО ПРИСТРОЮ ТРАНСПОРТНОГО МТА	Літ.	Арк. 3 / Акрушів 9
Перевірив.		Павленко					
Н.контр.		Калінін				НУБіП України	
Затв.							

Розрахункова схема транспортного МТАпружно-демпфувальним причіпнимпристроєм



Умовні позначення:

$m_т$ маса трактора, кг;
$m_п$ маса причепа з вантажем, кг;
$P_т$ тягове зусилля трактора, Н;
$F_{оп}$ сила опору руху причепа, Н;
$F_{вз}$ сумарна сила взаємодії у причіпному пристрої, Н;
$G_т$ вага трактора, Н;
$G_п$ вага причепа з вантажем, Н;
k жорсткість пружного елемента, Н/м;
c коефіцієнт демпфування, Нс/м;
Δx деформація пружного елемента, м.

сила демпфування:

$$F_{дп} = c \cdot \dot{x} \qquad (1)$$

де $F_{дп}$ сила демпфування, Н;
c коефіцієнт демпфування, Нс/м;
$\dot{x}$ швидкість відносного переміщення елементів системи, м/с.

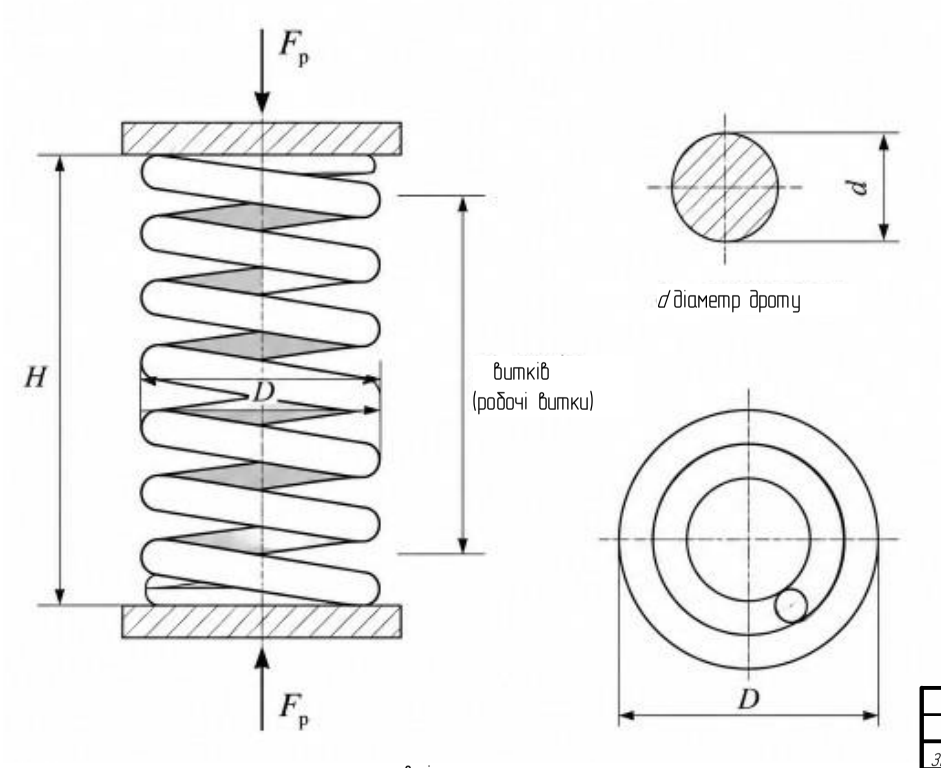
сила взаємодії між трактором і причепом:

$$F_{вз} = k\Delta x + c\dot{x} \qquad (2)$$

де $F_{вз}$ сила взаємодії між трактором і причепом, Н;
k жорсткість пружного елемента, Н/м;
Δx деформація пружини, м;
c коефіцієнт демпфування, Нс/м;
$\dot{x}$ швидкість деформації, м/с.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	01.08 ДП.510 «С» 2026.02.16.72 ПЗ		
Розробив.		Киницький			РОЗРАХУНКОВА СХЕМА ТРАНСПОРТНОГО МТА	Літ.	Арк. 4 / Акрушів 9
Перевірив.		Павленко					
Н.контр.		Калінін				НУБіП України	
Затв.							

Розрахункова схема циліндричної гвинтової пружини



умовні позначення:

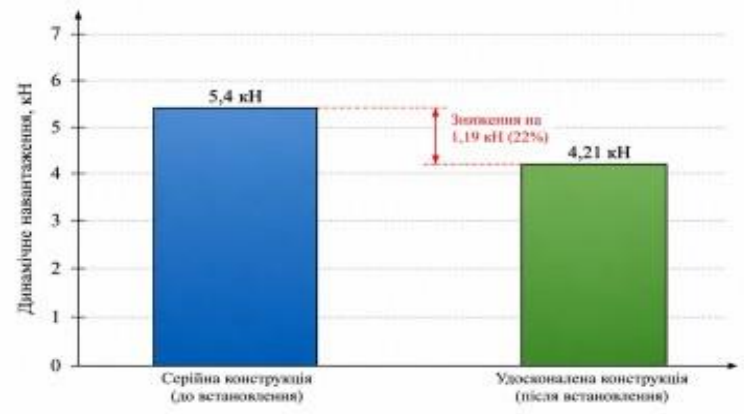
F_p розрахункове навантаження на пружину, Н; середній діаметр пружини, мм; діаметр дроту пружини, мм; n кількість робочих витків пружини; Н конструктивна висота пружини, мм.

Основні параметри пружного елемента причіпного пристрою

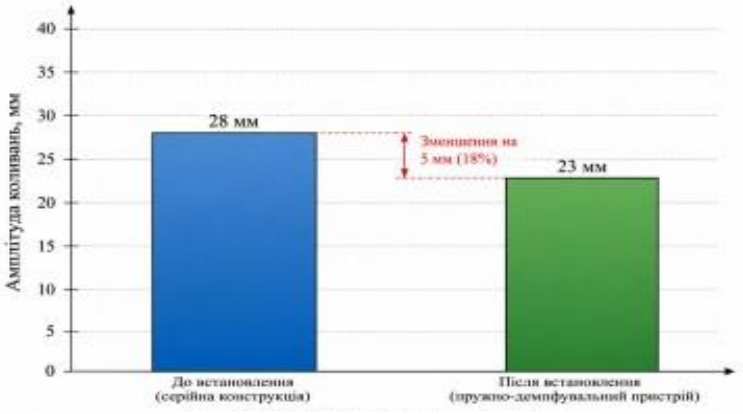
Параметр	Значення
Розрахункове навантаження, F_p	8,1 кН
Робочий хід, Δx	60 мм
Жорсткість, k	135 кН/м
Матеріал	сталь 60С2А
Діаметр дроту, d	18 мм
Середній діаметр пружини, D	120 мм
Робоча кількість витків, n	5
Загальна кількість витків, $n_з$	7
Конструктивна висота, H	210 мм

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	01.08 ДП.510 «С» 2026.02.16.72 ПЗ		
Розробив.		Куницький			ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРУЖНО-ДЕМПФУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ	Літ	Арк. 5 / Акрушів 9
Перевірив.		Павленко					
Н.контр.		Калінін				НУБіП України	
Затв.							

Порівняннядинамічногонавантаженняв зоні зчіпки транспортного МТА до тапісля встановленняпружно-демпфувальногопристрою



Очікуване зменшення амплітуди коливань транспортного МТАпісля встановленняпружно-демпфувальногопристрою



Результати оцінюванняефективностіпружно-демпфувальногопристрою

Показник	Серійна конструкція	Удосконалена конструкція
Динамічне навантаження, кН	5,4	4,21
Коефіцієнт передачі навантаженн	1,00	0,78
Зниження навантаження, %		22

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	01.08 ДП.510 «С» 2026.02.16.72 ПЗ		
Розробив.		Киницький			РЕЗУЛЬТАТИ ПОКРАЩЕННЯ ПЛАВНОСТІ РУХУ	Літ.	Арк. 6 / Акрушів 9
Перевірив.		Павленко				НУБіП України	
Н.контр.		Калнін					
Затв.							

Загальний вигляд удосконаленого пружно-демпфувального причіпного пристрою транспортного МТА

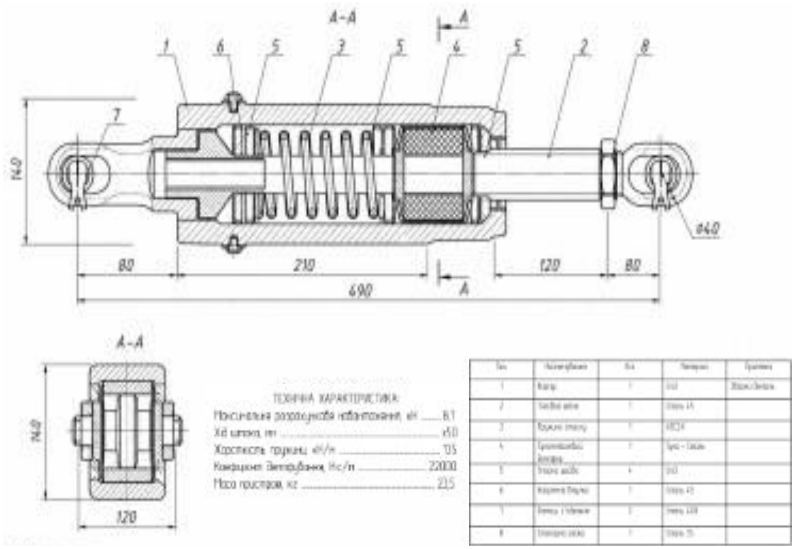
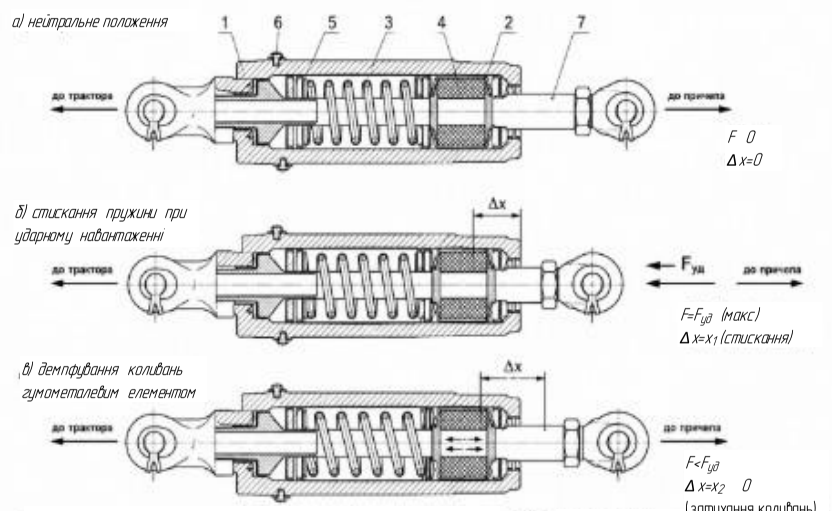


Схема роботи пружно-демпфувального причіпного пристрою під навантаженням

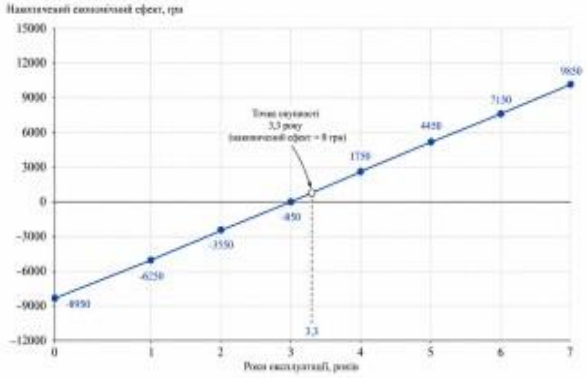


Результати перевірки міцності елементів конструкції

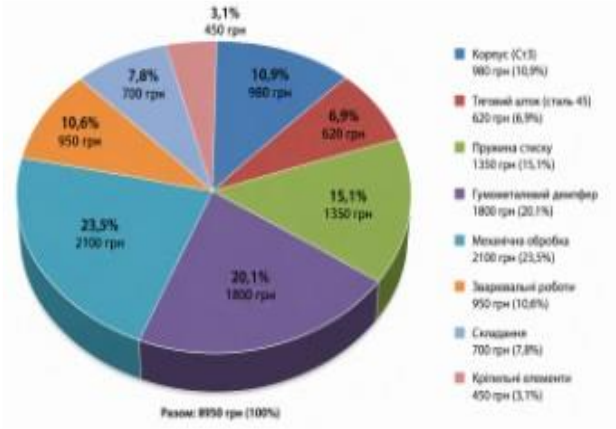
Елемент	Розрахункове напруження, МПа	Допустиме напруження, МПа	Результат
Тяговий шток	8,42	160	умова виконується
Палець	3,22	90	умова виконується
Корпус	<14,0	14,0	умова виконується

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	01.08 ДП.510 «С» 2026.02.16.72 ПЗ		
Розробив		Куницький			КОНСТРУКЦІЯ ПРУЖНО-ДЕМПФУВАЛЬНОГО ПРИЧІПНОГО ПРИСТРОЮ	Літ	Арк. 7 / Акрушів 9
Перевірив		Павленко					
Н.контр.		Калінін				НУБіП України	
Затв.							

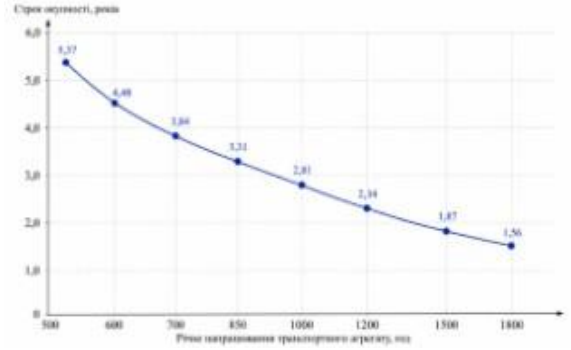
Графік накопиченого економічного ефекту від використання пружно-демпфувального причіпного пристрою



Структура витрат на виготовлення пружно-демпфувального причіпного пристрою



Залежність строк окупності від річного напрацювання транспортного агрегату



					01.08 ДП.510 «С» 2026.02.16.72 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
Розробив.		Куницький			ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ	Літ. / Арк. 8 / Акушів 9
Перевірив.		Павленко				
Н.контр.		Калінін				НУБіП України
Затв.						

У дипломному проєкті вирішено актуальне інженерне завдання щодо покращення плавності руху трактора у складі транспортного машинно-тракторного агрегату шляхом удосконалення причіпного пристрою транспортного МТА на базі трактора ХТЗ-17221 з причепом 2ПТС-6.

Проведено аналіз умов експлуатації транспортних машинно-тракторних агрегатів та встановлено, що одним із основних чинників погіршення плавності руху є значні динамічні навантаження в зоні агрегатування, які виникають під час руху нерівностями дороги та спричиняють підвищення вібраційного навантаження і зношування вузлів транспортного МТА.

Виконано інженерне обґрунтування параметрів пружно-демпфувального причіпного пристрою. Установлено, що для транспортного МТА ХТЗ-17221 + 2ПТС-6 доцільним є використання циліндричної гвинтової пружини зі жорсткістю 135 кН/м, діаметром дроту 18 мм, середнім діаметром 120 мм та гумометалевого демпфера з коефіцієнтом демпфування 22000 Н·с/м, який забезпечує силу демпфування 5,5 кН.

Розроблено конструкцію удосконаленого пружно-демпфувального причіпного пристрою, що поєднує пружний та демпфувальний елементи, виконано складальне і робочі креслення основних деталей, а також підтверджено працездатність конструкції перевірочними розрахунками міцності, які показали достатній запас міцності найбільш навантажених елементів.

Установлено, що використання запропонованого причіпного пристрою дозволяє знизити динамічні навантаження в зоні агрегатування приблизно на 22 %, а амплітуду коливань транспортного МТА — приблизно на 18 %, що сприяє покращенню плавності руху, підвищенню довговічності вузлів агрегату та покращенню умов праці механізатора.

Виконано оцінювання економічної ефективності впровадження удосконаленого причіпного пристрою та встановлено, що за вартості виготовлення 8950 грн річний економічний ефект становить близько 2700 грн, а строк окупності — 3,3 року, що підтверджує економічну доцільність запропонованого технічного рішення.

Запропонована конструкція пружно-демпфувального причіпного пристрою для транспортного МТА на базі трактора ХТЗ-17221 з причепом 2ПТС-6 забезпечує покращення плавності руху, зменшення динамічних навантажень у зоні агрегатування, підвищення надійності експлуатації транспортного агрегату та є технічно й економічно доцільною для впровадження в умовах аграрного виробництва.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	01.08 ДП.5510 «С» 2026.02.16.72 ПЗ		
Розробив		Куницький			ВИСНОВКИ	Літ.	Арк. 9 / Аркушів 9
Перевірив		Павленко					
Н.контр.		Калінін				НУБіП України	
Затв.							