

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко – технологічний факультет

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
Тракторів і автомобілів
(назва кафедри)

д.т.н., проф. _____ Калінін Є.І.
(підпис) (ПІБ)

“ ____ ” _____ 2026 р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ БАКАЛАВРА

**на тему «Удосконалення тягово-зчіпного пристрою тягового трактора класу
14 кН»**

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Гарант освітньої програми

д.т.н., професор
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Братішко В.В.
(ПІБ)

Керівник дипломного проєкту бакалавра

д.т.н., професор
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ Степанов О.В.
(підпис) (ПІБ)

Виконав

_____ (підпис)

Ковтун Євгеній Вікторович
(ПІБ студента)

КИЇВ – 2026

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко – технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Тракторів і автомобілів

д.т.н., професор _____ **Калінін Є.І.**
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)
“ ” _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я

на виконання дипломного проєкту бакалавра студенту

Ковтуну Євгенію Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Тема дипломного проєкту бакалавра на тему «Удосконалення тягово-зчіпного пристрою тягового трактора класу 14 кН»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «16» лютого 2026р. №510 «С»

Термін подання завершеної роботи (проєкту) на кафедру: 01.05.2026

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до дипломного проєкту бакалавра технічна характеристика тягово-зчіпних пристроїв тракторів

Перелік питань які потрібно розробити _____

Вступ

1 Механізація процесів у тваринництві з використанням тракторів тягового класу 14 кН

1.1 Аналіз процесів механізації у тваринництві

1.2 Способи підвищення ефективності експлуатації тракторів тягового класу 14 кН за умов тваринницьких ферм

2 Проектна частина

2.1 Аналіз конструкції базового навісного та буксирного пристрою трактора МТЗ-80 (82

2.2 Види тягово-зчіпних пристроїв колісних тракторів

2.3 Визначення тягово-зчіпних показників колісного трактора при перерозподілі навантажень між осями

2.4 Визначення техніко-економічних показників трактора МТЗ-80 з удосконаленим тягово-зчіпним пристроєм

3 Конструктивна технологія

3.1 Аналіз конструктивних рішень щодо вдосконалення тягово-зчіпних пристроїв тракторів класу 14 кН

3.2 Конструктивна схема і принцип роботи пропонованого тягово-зчіпного пристрою

3.3 Перевірочний розрахунок рамки на міцність

3.4 Розрахунок болтового з'єднання серезки з остовом трактора

3.5 Розрахунок на міцність зварного з'єднання

3.6 Перевірка перерізу фіксатора на зріз

4 Охорона праці

4.1 Аналіз безпеки використання трактора тягового класу 14 кН із модернізованим тягово-зчіпним пристроєм

4.2 Вимоги безпеки при експлуатації та технічному обслуговуванні трактора тягового класу 14 кН з модернізованим тягово-зчіпним пристроєм

4.2.1	<u>Вимоги техніки безпеки</u>
4.2.2	<u>Вимоги виробничої санітарії</u>
4.2.3	<u>Вимоги електробезпеки</u>
4.2.4	<u>Вимоги протипожежної безпеки</u>
4.2.5	<u>Вимоги ергономіки</u>
4.3	<u>Вимоги безпеки під час роботи на тракторі з модернізованим тягово-зчіпним пристроєм</u>
4.4	<u>Охорона довкілля</u>
5	<u>Економічна ефективність проекту</u>
<u>Перелік графічного матеріалу</u>	
1.	<u>Підвищення ефективності експлуатації тракторів</u>
2.	<u>Визначення тягово-зчіпних показників трактора</u>
3.	<u>Економічна ефективність проекту</u>
4.	<u>Конструктивна частина (3)</u>
<u>Висновки</u>	

Дата видачі завдання «23» лютого 2026 р.

Керівник дипломного проєкту бакалавра

(підпис)

Степанов О.В.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Ковтун Євгеній Вікторович
(прізвище та ініціали студента)

РЕФЕРАТ

Дипломний проект містить 74 сторінок, 15 рисунків, 2 таблиці, 32 літературні джерела.

Метою проекту є підвищення ефективності використання трактора в агрегаті з кормороздавачем шляхом удосконалення його тягово-зчіпного пристрою та використання силової гідросистеми трактора.

Об'єкт дослідження – процес агрегування кормороздавача з трактором тягового класу 14 кН.

У дипломному проекті проведено аналіз механізації технологічних процесів у тваринництві та виявлено, що близько 70-80% застосовуваних енергозасобів - це трактори тягового класу 14 кН.

Розглянуто способи підвищення ефективності експлуатації тракторів тягового класу 14 кН в умовах тваринницьких ферм і встановлено, що за рахунок використання довантажувального пристрою в сукупності з гідросистемою трактора можна поліпшити тягові властивості трактора шляхом перерозподілу навантаження від кормороздавача (причепи) на ведучий міст трактора.

Проведено аналіз конструкції базового начіпного та буксирного пристрою трактора МТЗ-80 (82). Визначено тягово-зчіпні показники колісного трактора при перерозподілі навантажень між осями та техніко-економічні показники трактора МТЗ-80 з удосконаленим тягово-зчіпним пристроєм. Розроблено конструкцію тягово-зчіпного пристрою до трактора тягового класу 14 кН, застосування якого забезпечує можливість перерозподілу навантажень на осях тракторно-транспортного агрегату в залежності від дорожніх умов і сприяє підвищенню тягового зусилля трактора до 10%. Проведено розрахунок економічних показників застосування трактора тягового класу 14 кН з модернізованим тягово-зчіпним пристроєм.

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Механізація процесів у тваринництві з використанням тракторів тягового класу 14 кН	10
1.1 Аналіз процесів механізації у тваринництві.....	10
1.2 Способи підвищення ефективності експлуатації тракторів тягового класу 14 кН за умов тваринницьких ферм	15
2 Проектна частина	17
2.1 Аналіз конструкції базового навісного та буксирного пристрою трактора МТЗ-80 (82).....	17
2.2 Види тягово-зчіпних пристроїв колісних тракторів	21
2.3 Визначення тягово-зчіпних показників колісного трактора при перерозподілі навантажень між осями.....	28
2.4 Визначення техніко-економічних показників трактора МТЗ-80 з удосконаленням тягово-зчіпним пристроєм.....	33
3 Конструктивна технологія	37
3.1 Аналіз конструктивних рішень щодо вдосконалення тягово-зчіпних пристроїв тракторів класу 14 кН	37
3.2 Конструктивна схема і принцип роботи пропонованого тягово-зчіпного пристрою	39
3.3 Перевірочний розрахунок рамки на міцність	41
3.4 Розрахунок болтового з'єднання сережки з остовом трактора	43
3.5 Розрахунок на міцність зварного з'єднання	47
3.6 Перевірка перерізу фіксатора на зріз	49
4 Охорона праці	51
4.1 Аналіз безпеки використання трактора тягового класу 14 кН із модернізованим тягово-зчіпним пристроєм	51
4.2 Вимоги безпеки при експлуатації та технічному обслуговуванні трактора тягового класу 14 кН з модернізованим тягово-зчіпним пристроєм.....	53
4.2.1 Вимоги техніки безпеки.....	53

4.2.2 Вимоги виробничої санітарії	54
4.2.3 Вимоги електробезпеки	55
4.2.4 Вимоги протипожежної безпеки	55
4.2.5 Вимоги ергономіки	56
4.3 Вимоги безпеки під час роботи на тракторі з модернізованим тягово-зчіпним пристроєм	57
4.4 Охорона навколишнього середовища.....	46
5 Економічна ефективність проєкта.....	62
ВИСНОВКИ.....	70
Список літературних джерел	71
ДОДАТКИ.....	74

ВСТУП

Тваринництво є важливою галуззю сільського господарства, котра дає більше половини його валової продукції. Значення цієї галузі визначається не тільки високою часткою її у виробництві валової продукції, а й великим впливом на економіку сільського господарства, на рівень забезпечення важливими продуктами харчування. Розвиток тваринницьких галузей дозволяє продуктивно використовувати у сільському господарстві трудові та матеріальні ресурси протягом року. У галузях тваринництва споживаються відходи рослинництва, створюються цінні органічні добрива.

Розвиток галузі тваринництва неможливий без ефективного технічного оснащення. При цьому велику роль у механізації тваринницьких процесів виконують трактори, що виконують понад 50% механізованих робіт з приготування та роздачі корму, вивезення гною тощо. [1]. Серед енергозасобів, що використовуються для механізації ферм, близько 70-80% займають трактори тягового класу 14 кН, які застосовуються у вигляді тягових засобів при агрегуванні причепів і кормороздавачів, а також з навісним обладнанням у вигляді грейферів і бульдозерів. У зв'язку з тим, що роботи в тваринництві виконуються протягом усього року трактори змушені використовуватися в різних дорожніх умовах. З урахуванням того, що багато ферм мають дорогу структуру представлену ґрунтовими дорогами (близько 40%) при доставці та роздачі корму в несприятливих умовах відзначається значний перевитрата пального і збільшення витрат часу на виконання технологічного процесу. Підвищити ефективність роботи тракторів тягового класу 14 кН під час роботи з кормороздавачами та причепами у несприятливих дорожніх умовах можна за рахунок удосконалення тягово-зчіпного пристрою. Входить в конструкцію тракторів МТЗ гідрозбільшувач зчіпної ваги здійснює довантаження заднього моста тільки при роботі з навісними сільськогосподарськими машинами. Одним з перспективних напрямків є підвищення зчіпної ваги трактора шляхом перерозподілу навантажень між

осями агрегату. У зв'язку з цим необхідне доопрацювання тягово-зчіпного пристрою тракторів МТЗ-80 (82) з метою підвищення довантаження заднього ведучого моста під час роботи з причіпними машинами у важких дорожніх умовах.

У дипломному проєкті пропонується розробка конструкції вдосконаленого тягово-зчіпного пристрою для тракторів МТЗ-80 (82), де збільшення зчіпної ваги трактора може бути реалізовано з використанням штатної гідросистеми трактора шляхом впливу на підйом передньої осі кормороздавача (причепа) через подовжувачі нижніх тяг. При цьому збільшується рушійна сила на ведучих колесах, що сприяє зростанню тягового зусилля трактора.

Використання трактора МТЗ-80, обладнаного удосконаленим тягово-зчіпним пристроєм, на доставці та роздачі корму у тваринницьких фермах дозволить знизити витрату палива до 15%, а собівартість виконання робіт до 10%.

1 МЕХАНІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ У ТВАРИННИЦТВІ З ВИКОРИСТАННЯМ ТРАКТОРІВ З ТЯГОВИМ КЛАСОМ 14 кН

1.1 Аналіз процесів механізації у тваринництві

Серед технологічних процесів у тваринництві одним із найважливіших є процес годівлі. Найбільш успішно процес годівлі тварин організовано на промислових відгодівельних комплексах, використовуючи однокомпонентні корми, що подаються потоковими лініями або мобільною роздачею. Однак таке використання неприйнятне у тваринництві з низки причин. Тому організація процесів годівлі тут базується на використанні мобільних годівниць та причепів. Різноманітність кормів, у свою чергу, вимагає використання різних механізмів та окремих операцій процесу годівлі (завантаження, подача, роздача).

Зниження трудомісткості годівлі тварин забезпечується використанням механізації, удосконаленням технології приготування кормів, методів годівлі, спрямованих на зменшення можливої частоти операцій. Найпоширенішими способами роздачі об'ємних кормів – зелених, соковитих (силос, солома), грубих, кормових сумішей – є мобільні (КТУ-10, РММ-5) та стаціонарні розподільники конвеєрного типу [2]. Мобільні розподільники є більш продуктивними, що дозволяють одночасно роздавати корм з обох боків, як у приміщенні з кормовим виходом довжиною 2-2,1 м, так і в зонах вигулу та годівлі з односторонньою роздачею. Перевагою кормороздавачів типу КТУ-10 є те, що час, витрачений на роздачу 1 тонни корму, менший, ніж при інших методах. Роздача концентрованих кормів, сінного борошна та гранул на більшості ферм здійснюється вручну за допомогою візків. Час, витрачений на ручне завантаження кожного візка, доставку та роздачу 1 тонни концентрату, становить в середньому 6,5 людино-годин (максимум до 7,8 людино-годин), аналогічні витрати спостерігаються при ручній роздачі трав'яного борошна та гранул. Середньорічні витрати на оплату праці на одну молочну корову, яка

споживає 300 г концентрату на 1 кг молока, з додатковою 1 квартою з них у сухостійний період, становлять 7,5 людино-годин. Значне зниження витрат при роздачі концентратів, трав'яного борошна та гранул досягається шляхом створення груп корів з однаковою продуктивністю в окремих приміщеннях або секціях, що дозволяє забезпечити кожному голові однаковою кількістю корму. У цьому випадку цей процес механізовано за допомогою універсальних кормороздавачів типу КУТ-3.0, а для рідких сумішей - РМК-1.7. Використання зазначених машин дозволяє знизити експлуатаційні витрати у 5–6 разів. Подача та роздача об'ємних кормів здійснюється кормовими тракторами, їх призначення лише на подачу та роздачу кормів не дозволяє встановити раціональне завантаження їхнього робочого дня та нормальну тривалість зміни. Затримки в межах зміни через технологічні перерви в процесі годівлі тварин становлять 18-32% часу зміни [3].

Найефективнішими машинами для завантаження силосу (трави) є машини безперервної дії, такі як ПСК-5.0. Хоча вони менш продуктивні, ніж машини переривчастої дії (ПЕ-0.8, ПГ-0.5Д тощо), вони дозволяють додатково подрібнювати корм, покращують його смак та забезпечують більш рівномірне ущільнення під час завантаження в кормозапасні пристрої. Крім того, вони не розпушують силосну (трав'яну) масу під час завантаження в траншеї, що запобігає окисленню та псуванню.

Трактори з номінальним тяговим зусиллям 14 кН використовуються у тваринництві для буксирування причепів, що перевозять корми, гній та інші вантажі, для переміщення кормозаготівельних машин (ФН-1, 4; ІРТ-165; ІГК-30Б тощо), а також для видалення гною з будівель. Трактори також підключаються до кормозаготівельних машин, таких як КТУ-10, ІСРК-12 тощо.

Навісні кормозапасні пристрої є ефективним засобом транспортування та розподілу кормів. Висока мобільність, універсальність, надійність, простота використання та економічність – основні фактори, що забезпечують їх широке використання в господарствах з великими кормовими коридорами, а також на

годівницях та відкритих кормових майданчиках. Перевагою мобільних кормозаготівельних пристроїв є те, що вони поєднують подачу корму з поля або комбікормового заводу з транспортуванням вздовж фронту корму та розподілом до годівниць. Ці машини також можуть використовуватися для приготування корму як самохідні машини з регульованою пропускною здатністю.

Найбільше поширення на тваринницьких фермах отримали навісні кормозаготівельні пристрої, такі як КТУ-10, РММ-5, РЗМ-8Д та КУТ-ЗА. Всі вони, крім КУТ-ЗА, мають широкий діапазон регулювання швидкості позовжнього конвеєра, місткість кузова 5...9,6 м³ та вантажопідйомність 2...3 тонни. Корморозподільник КТУ-10А підключається до будь-якого трактора класу 14 кН. Функціональні частини розподільника приводяться в дію від ВВП трактора (рис. 1).

Кормороздавач КТУ-10А розподіляє дрібно подрібнені соковиті та грубі корми у двосторонні (або, за необхідності, односторонні) годівниці. Підготовлений корм завантажується у корморозподільник і доставляється до пункту роздачі. Рухаючись паралельно годівницям, трактор одночасно приводить у рух позовжній транспортер розподільника, який розташований у нижній частині корпусу. Корм повільно рухається до передньої частини розподільника, подрібнюється змішувачами, а потім потрапляє на поперечний транспортер, а звідти – у годівниці. Кормороздавач обладнаний похилим транспортером, який дозволяє здійснювати подачу корму до годівниць, розміщених на значній відстані. Швидкість подачі регулюється зміною швидкості поперечного транспортера або швидкості трактора. Під час роздачі кормів трактор працює на першій та другій передачах. Один кормороздавачів КТУ-10А може подавати та роздавати корм для ферми з 300-400 корів. Під час транспортування кормів з пасовищ, а також на великих фермах та комплексах рекомендується мати кілька дозаторів.



Рисунок 1 – Універсальний розподільник кормів КТУ-10А

Для розширення функцій розподільника кормів КТУ-10А до нього випускаються два додаткові комплекти обладнання: 1) комплект запасних частин для стаціонарного використання розподільника кормів при дозований подачі пневматичних транспортерів (при завантаженні кормоскладів) та стаціонарних внутрішньогосподарських транспортерів для роздачі кормів; 2) пристрій для дозованої роздачі концентрованих сипких та гранульованих кормів (навісний бункер з барабанним розподільником) [3].

Трактори МТЗ-80 (82) призначені для виконання різних сільськогосподарських операцій з навісною, напівнавісною та причіпною технікою та знаряддями. Крім того, вони використовуються для виконання трудомістких робіт в агрегаті з бульдозерами, екскаваторами, навантажувачами, траншеєкопачами, а також для спеціальних транспортних робіт та для керування різною стаціонарною сільськогосподарською технікою.

Колісні трактори МТЗ-80 (82) – це сільськогосподарські трактори загального призначення класу 1,4 тс (14 кН). Вони відрізняються типом механізму приводу: МТЗ-80 – з одним ведучим мостом, МТЗ-82 – з двома ведучими мостами. Трактори мають напівраму, їх рама складається з піврами,

корпусів зчеплення, коробки передач та заднього моста. Дизельний двигун пружно встановлений на передній балці спереду та жорстко з'єднаний з корпусом зчеплення ззаду. У тракторі МТЗ-82 передній ведучий міст виконаний з планетарно-циліндричними кінцевими передачами. Силова передача трактора включає зчеплення, понижувальну коробку передач та коробку передач, задній міст з автоматичним блокуванням диференціала та задній відбір потужності з незалежним та синхронним двошвидкісним приводами. Трактори з двома ведучими мостами оснащені відбором потужності та механізмами приводу – роздавальною коробкою, проміжним та переднім карданными валами, проміжною опорою. Рульове керування трактора виконується гідромеханічно (з корпусом гідропідсилювача керма) або гідрооб'ємна система рульового керування з дозуючим насосом (ГОРК) [4].

Гідромеханічна система рульового керування складається з черв'ячної передачі, сектора та гідропідсилювача керма. Гідрооб'ємна система рульового керування з ПЗР складається з роторного дозуючого насоса, встановленого на рульовій колонці на передній стінці кабіни, шестерного живильного насоса, що приводиться в дію дизельним двигуном, гідроциліндра, встановленого на рульовій трапеції передньої осі трактора. Ємність оливи ГОРК є резервуаром гідравлічної системи підвіски. На тракторах з ГОРК для блокування диференціала заднього моста використовується гідравлічний привід з регульовальним клапаном, розташованим під похилою частиною основи кабіни. Блокування керується педаллю, розташованою ліворуч від педаль керування робочим гальмом.

Трактори МТЗ-80 (82) забезпечують діапазон швидкостей 1,9-33,4 км/год. Конструктивна маса тракторів МТЗ-80 (82) становить 3520 та 3850 кг відповідно, при цьому найбільша маса причепа становить 12000 кг. Таким чином, трактори тягового класу 14 кН є найбільш широко використовуваними енергетичними засобами механізації процесів на тваринницьких фермах.

1.2 Шляхи підвищення експлуатаційної ефективності тракторів тягового класу 14 кН на тваринницьких фермах

Під час транспортування та роздачі кормів на тваринницьких фермах та пішохідних зонах ефективність використання тракторів тягового класу 14 кН з кормозаправниками та причепами знижується через недостатнє зчеплення ведучих коліс з дорожнім покриттям, що особливо помітно на ожеледиці, на виїздах із силосів та на ґрунтових дорогах. В результаті збільшується час виконання технологічних операцій подачі та роздачі кормів, збільшується витрата палива та знижується продуктивність агрегатів.

Відомі методи підвищення тягово-зчіпних властивостей тракторів тягового класу 14 кН в умовах тваринництва є неефективними. Використання гідравлічного підсилювача зчіпної ваги, що входить до конструкції трактора, ефективне лише при агрегуванні навісних машин. Метод зниження тиску в шинах для підвищення тягово-зчіпних властивостей вимагає значної кількості часу, призводить до передчасного зносу шин та, враховуючи, що дорожні умови змінюються досить часто, є нераціональним. Використання тягово-зчіпних та додаткових вантажопідйомних пристроїв на тракторах супроводжується додатковими витратами на їх виробництво, монтаж та обслуговування. З огляду на необхідність короткочасного використання при обслуговуванні тваринницьких ферм та приміщень, цей метод є дорогим та неефективним для перевезень на короткі відстані.

Одним із перспективних напрямків є збільшення зчіпної ваги трактора шляхом розподілу навантажень між осями агрегату. Під час руху тягача з причепом по поверхні з низькими тягово-зчіпними властивостями рекомендується збільшити зчіпну вагу трактора. Раціональним способом збільшення зчіпної ваги є розподіл навантажень між осями агрегату. Такий метод дозволяє керувати агрегатом без примусових операцій кермування та уникнути підвищеного пробуксовування. Використовуючи додатковий вантажопідйомний пристрій спільно з гідравлічною системою трактора, можна покращити тягові властивості трактора, перерозподіляючи

навантаження з відбору потужності (причепи) на ведучу вісь, що необхідно у разі недостатнього зчеплення ведучої осі з вантажопідйомною поверхнею.

Збільшення зчіпної ваги може бути здійснено за допомогою гідравлічної системи основного трактора шляхом впливу на підйом передньої осі причепа через подовжувачі нижніх тяг та тягову вісь причепа. При цьому збільшується рушійна сила ведучих коліс, що сприяє збільшенню тягової сили трактора.

Метою роботи є підвищення ефективності використання трактора в агрегаті з кормороздавачем шляхом удосконалення його тягово-зчіпного пристрою та використання гідравлічної системи трактора.

Завдання:

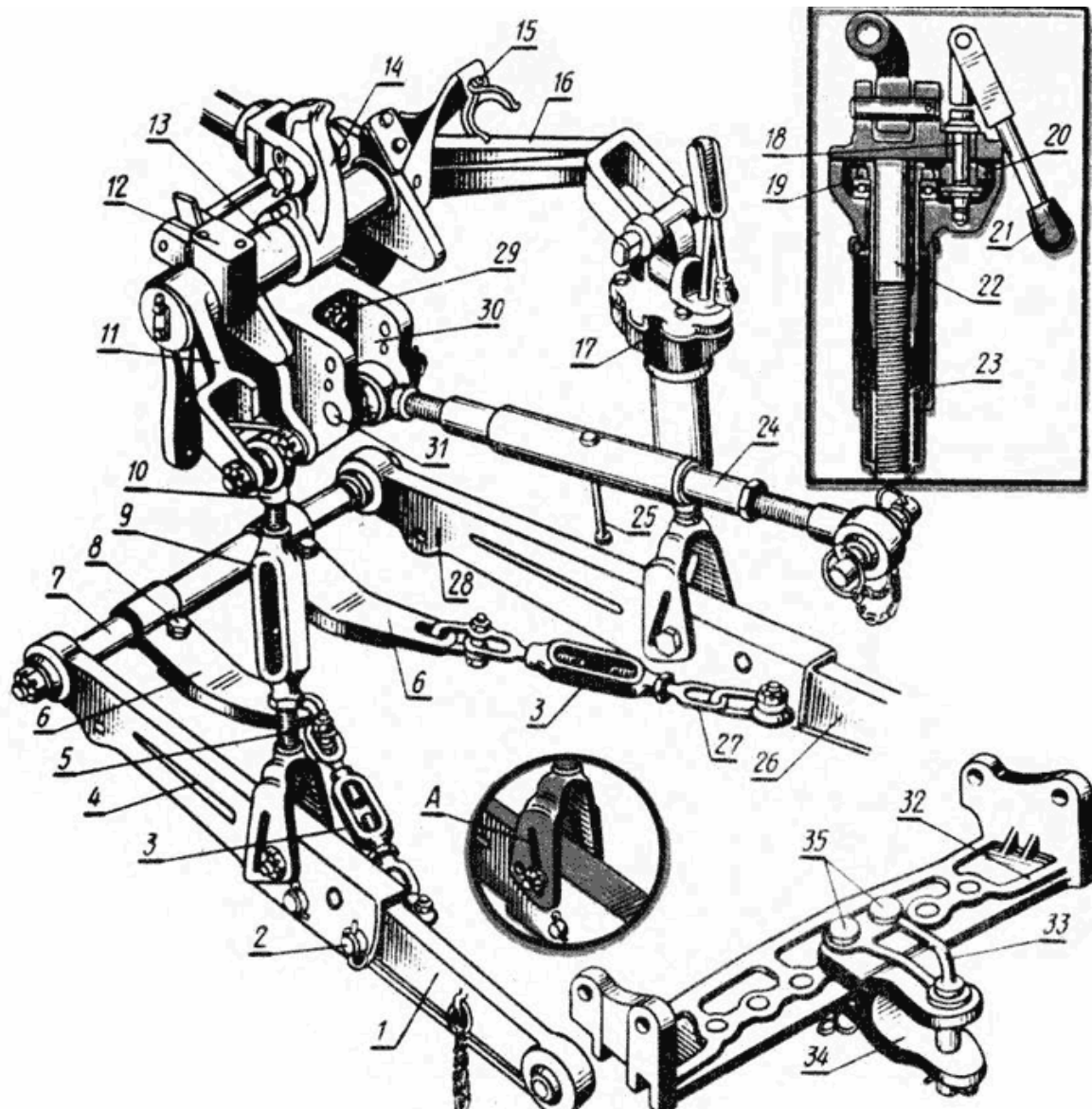
1. Розробити конструкцію тягово-зчіпного пристрою трактора МТЗ-80 (82), яка забезпечує підвищення його тягово-зчіпних властивостей при роботі з кормороздавальним агрегатом.
2. Провести технологічні розрахунки на міцність та визначити параметри тягово-зчіпного пристрою трактора.
3. Визначити ефективність використання трактора з удосконаленим тягово-зчіпним пристроєм у виробничих умовах.

2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз конструкції базового зчіпно-тягового пристрою трактора класу 14 кН

Тягово-зчіпний (тягово-зчіпний механізм) використовується для з'єднання зібраної, напівзібраної та причіпної сільськогосподарської техніки з трактором, регулювання робочого положення, підйому зібраної та напівзібраної техніки в транспортне положення та опускання її в робоче положення. Автоматичне зчеплення зазвичай з'єднується з триточковим буксирувальним механізмом (два нижні шарніри та верхній шарнір), який потім з'єднується із замком на машині. Циліндр двигуна тяго-зчіпного механізму з'єднаний з корпусом заднього моста через основу. Основа кріпиться до заднього моста чотирма спеціальними болтами та двома порожнистими штифтами. Болти захищені від самовідтворення за допомогою згинальних пластин. Вилка штока циліндра з'єднана з поворотним важелем 14, який встановлений на гілках вала 13, що обертається в кільцях основи 12, рисунок 2. Зовнішні важелі 11 та 16 встановлені на кінцях вала 13 таким самим чином. За допомогою опор 8 зв'язок від циліндра до навісної сільськогосподарської машини передається наступним чином: шток циліндра - поворотний важіль - вал - зовнішні важелі - опори - нижні кільця - до навісної машини, яка також з'єднана з верхнім (центральною) кільцем [5]. Рух сільськогосподарської машини під час піднімання та опускання опорного механізму відбувається за траєкторією, яка формується переміщенням задніх кінців нижніх та верхньої тяг. Опора, розташована ліворуч у напрямку руху трактора, зазвичай не регулюється, а розмір між її нижнім та верхнім пальцями повинен становити 500 мм. Ця опора складається з двох гвинтів - 5 та 10 і ремня 9, рисунок 2. Довжина правої опори регулюється ручкою 21 ролика 18, до якої кріпиться ведений механізм 20, що передає обертання механізму 19. Цей механізм жорстко з'єднаний з ременем 2 обертанням вільчастого гвинта 23. Поворот ручки 21 ролика 18 за годинниковою стрілкою, якщо дивитися

зверху, збільшує довжину опори, поворот її у зворотному напрямку - зменшує її. Верхній стрижень 24 з'єднаний із сережкою 30 датчика регулювання зусилля [5]. Передні шарніри нижніх кілець кріпляться до вала 7, який проходить через сталеві кільця, запресовані у вушка заднього моста. До цього ж вала кріпляться шарніри 6, які з'єднані болтами 27 та з'єднують нижні кільця 3. Вони є обмежувальними ланцюгами та забезпечують регулювання поперечних переміщень машини в транспортному та робочому положеннях. У кронштейни 6 вкручені болти 8, які, спираючись на корпус заднього моста, забезпечують натяг ланцюгів у транспортному положенні машини та зменшують її коливання. Датчик регулювання зусилля встановлений на опорі поворотного вала 12. Для з'єднання причепа з тягачем на нижніх кільцях 4 та 28 встановлена поперечна вісь 32 з вилкою 34, рисунок 2.

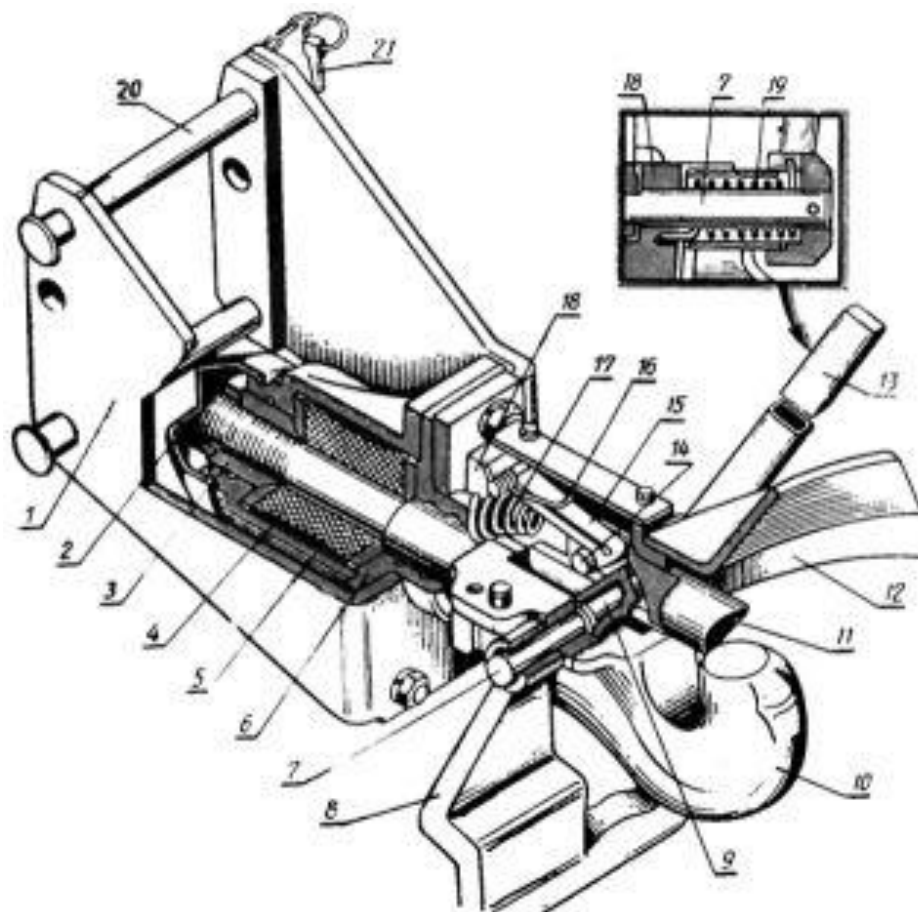


1 та 26 - задні кінці тяг; 2 – вушко; 3 та 9 – стяжки; 4 та 28 - нижні тяги; 5 - нижній гвинт; 6 - затискач стяжки; 7 - нижній вал тяги; 8 – болт; 10 - верхній гвинт; 11 та 16 - зовнішні важелі; 12 – важіль; 13 - поворотний вал; 14 - важіль циліндра; 15 - верхній опорний кронштейн тяги; 17 - правий кронштейн; 18 – циліндр; 19 - ведена шестерня; 20 - ведуча шестерня; 21 – ручка; 22 - стяжна трубка; 23 - гвинт вилки; 24 - верхній стрижень; 25 – ручка; 27 - стяжний гвинт; 29 - болт датчика сили; 30 - вушка датчика; 31 – штифт; 32 - поперечний стрижень; 33 – штифт; 34 – вилка; 35 – штифт

Рисунок 2 – Навісне обладнання трактора класа 14 кН

Перед встановленням зчіпного пристрою розкриваються задні кінці нижніх тяг 1 та 26, для чого відкручується та звільняється штифт, що з'єднує передній та задній кінці тяг з вушками 2. Щоби зчіпного пристрою вставляються в пази передніх кінців нижніх тяг, які фіксуються штифтами та вушками. Для усунення бічних переміщень причепа довжина утримуючих ланцюгів зменшується до мінімуму поворотом ременів 3. Регулювальні гвинти 8 повністю повертаються в кронштейнах 6, Рисунок 2.

Буксирний пристрій МТЗ-80 (82) - це тягово-зчіпний вузол, призначений для роботи з двовісними транспортними причепами трактора. Він встановлюється на кронштейні осі обертання буксирувального механізму та з'єднується з валом двома штифтами, Рисунок 3.



1 – опорна основа; 2 – кришка; 3 – гайка гака; 4 – амортизатор; 5 – корпус амортизатора; 6 – кришка; 7 – вал ручки керування; 8 – нижній колектор; 9 – важіль блокування; 10 – гак; 11 – засувка кулачка гака; 12 – козирок; 13 – ручка

керування; 14 – фіксує штифт; 15 – обмежувач блокування; 16 – пружина; 17 фіксує пружина; 18 – корпус зчеплення; 19 – пружина ручки керування; 20 – штифт; 21 – гайка

Рисунок 3 – Тягово-зчіпний пристрій

Для з'єднання петлі причепа з гаком 10 тягово-зчіпного пристрою рукоятку 13, яка керує фіксатором 11 зіву гака та нижнім уловлювачем 8, повертають назад (рисунок 3). При цьому зів гака 10 відкритий, а нижній уловлювач перебуває в горизонтальному положенні. Під час руху трактора заднім ходом уловлювач 8, зустрічаючись із петлею дишла причепа, спрямовує її так, щоб вона дійшла до упору у фіксатор 11 зіву гака. Натискаючи на виступаючий кінець фіксатора 11, петля дишла причепа втискає його всередину корпусу 18, а потім, опускаючись, заходить у зів гака 10. При цьому фіксатор 11 під дією пружини 17 виходить із корпусу 18 та автоматично замикає зів гака, а рукоятка 13 під дією поворотної пружини 19 встановлюється у вихідне положення. Для розчеплення агрегату потрібно за допомогою рукоятки 13 перемістити фіксатор уперед, звільнивши зів гака, і зняти петлю дишла причепа з гака.

2.2 Типи тягово-зчіпних пристроїв колісних тракторів

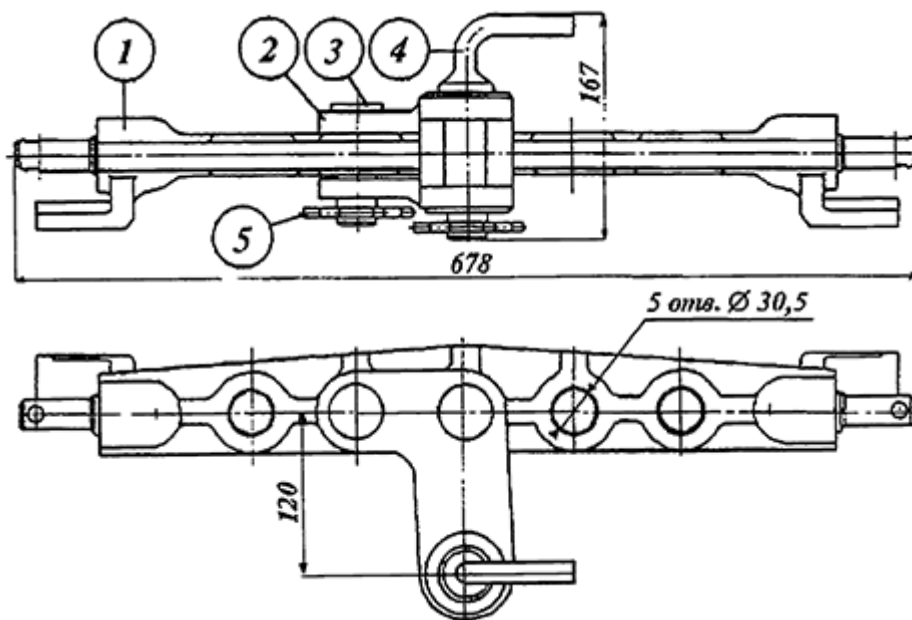
Основною функціональною особливістю тягово-зчіпних пристроїв є те, що вони призначені для передачі великих поздовжніх та малих вертикальних сил (вони не повинні перевищувати 10...15 кН). Тягово-зчіпний пристрій повинен бути високонадійним, забезпечувати відповідні кути складання автопоїзда, надавати можливість швидкого та безпечного зчеплення та розчеплення, а також сприймати динамічні навантаження під час руху трактора з буксируваним транспортним засобом. Тягово-зчіпний пристрій складається з зчіпних та амортизуючих механізмів, а також елементів кріплення. Конструкція тягово-зчіпних пристроїв суттєво впливає на такі

важливі експлуатаційні властивості агрегату, як керованість, курсова стійкість, маневреність, плавність ходу, прохідність, надійність та безпека [6].

Тягово-зчіпний (причіпний) пристрій ТЗП-1Ж призначений для приєднання до трактора причіпних сільськогосподарських машин. Він установлюється на задні шарніри нижніх (поздовжніх) тяг і складається з поперечини 1, вилки 2, шкворня 4 та пальців 3 (рисунок 4).

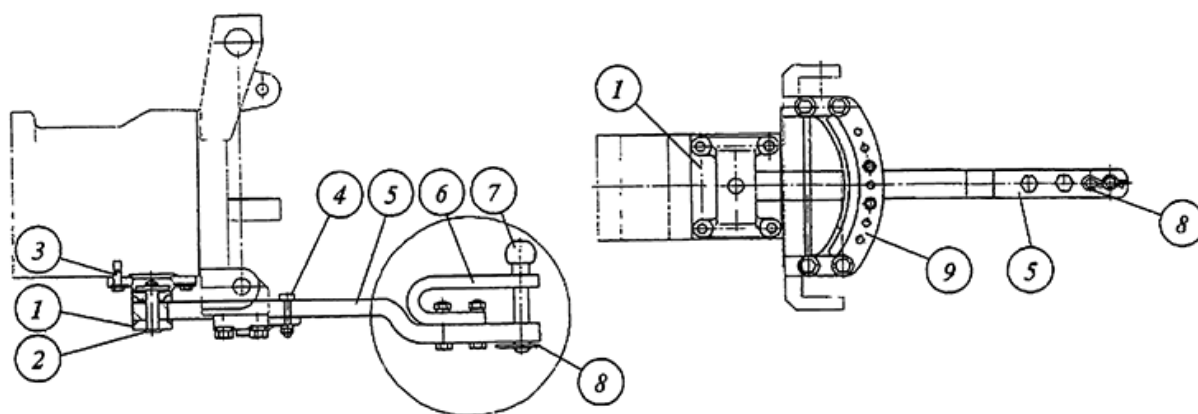
На трактор також може встановлюватися тягово-зчіпний пристрій маятникового типу (ТЗП-1М), а також тягово-зчіпний пристрій з опускною тягою.

Тягово-зчіпний пристрій маятникового типу (ТЗП-1М) призначений для приєднання до трактора причіпних сільськогосподарських машин, тракторних причепів, а також для роботи трактора із сільськогосподарськими машинами, точка приєднання яких зміщена відносно осі трактора. ТЗП-1М складається з кронштейна 1, прикріпленого до нижньої частини заднього моста, на якому за допомогою пальця 2 закріплена маятникова тяга 5 (рисунок 5).



1-поперечина; 2 – вилка; 3 – палець; 4 – шворень; 5 - шплінт

Рисунок 4 – Тягово-зчіпний пристрій ТЗП - 1Ж

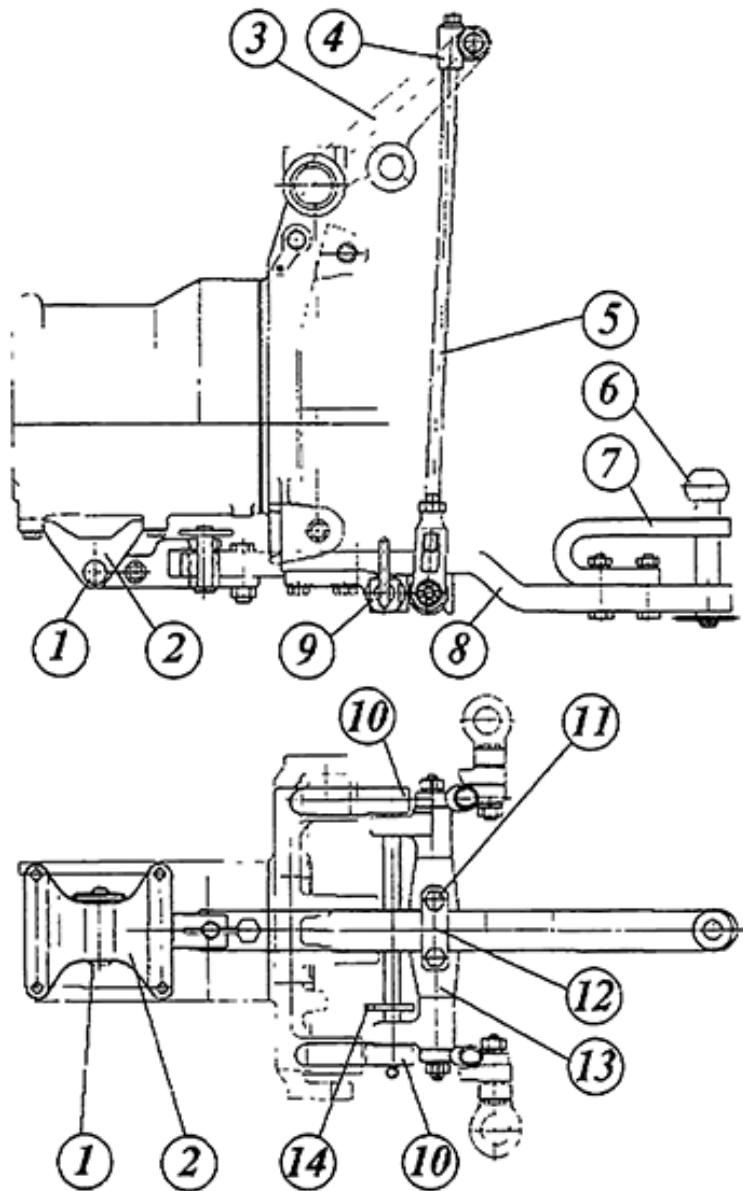


1 – кронштейн; 2 – палець; 3 – болт; 4 – планка; 5 - тяга маятника; 6 – накладка; 7 – шворень; 8 – шплінт; 9 - поперечка

Рисунок 5 – Тягово-зчіпний пристрій ТЗП - 1М

На задній частині тяги 5 закріплена накладка 6, що утворює з тягою 5 під'єднувальну вилку, малюнок 5. Встановлений у вилку шворень 7 фіксує у вилці тяги знизу причепа. Фіксація тяги 5 маятника в певному положенні в горизонтальній площині проводиться планкою 4 в отворах закріпленої до нижньої частини кришки ВВП поперечки 9, рисунок 5.

Тягово-зчіпний пристрій з тягою, що опускається, призначений для під'єднання до трактора сільськогосподарських машин і тракторних причепів, рисунок 6.



1 – палець; 2 – кронштейн; 3 – важіль; 4 - сережки; 5 – тяга; 6 – шворень;
7 – накладка; 8 – тяга; 9 - палець; 10 – кронштейн; 11 – болт; 12 – планка; 13 -
поперечина; 14 - пружинний шплінт

Рисунок 6 – Тягово-зчіпний пристрій з тягою, що опускається.

Механізм зчіпного пристрою дозволяє рух у вертикальній площині. Зчіпний пристрій складається з важеля 2, встановленого на нижній частині корпусу заднього моста, до якого зчіпний пристрій 8 з'єднаний штифтом 1 пластиною 7, встановленою на його задньому кінці, рисунок 6. Пластина 7 разом із заднім кінцем зчіпного пристрою 8 та штифтом 6 утворює вилку для зчеплення причепів та сільськогосподарської техніки. Верхня частина штифта

6 являє собою «куллю» для зчеплення причепів. Поперечна тяга 13 кріпиться до зчіпного пристрою 8 за допомогою тяги 12 та болтів 11, які з'єднані з важелями зчіпного пристрою 3 через тяги 5 та гаки 4. У транспортному положенні тяга 8 закріплена штифтом 9, вставленим в отвори кронштейнів 10, а поперечна тяга 13, Рисунок 6, кріпиться до нижньої частини задньої кришки ВВП. Для встановлення тяги 8 у транспортне положення слід сумістити отвори в кронштейнах 10 та поперечині 13, вставити в них штифт 9 та зафіксувати його пружинним штифтом 14. Щоб встановити тягу в положення, яке контролюється гідравлічною системою фаркопа, слід підняти фаркоп до його розчеплення, вийняти пружинний штифт 14, вийняти штифт 9 з отворів у поперечині 13 та кронштейнах 10 та опустити тягу 8 у нижнє положення.

Сучасні колісні трактори оснащені трьома типами фаркопів, які відрізняються призначенням [6]:

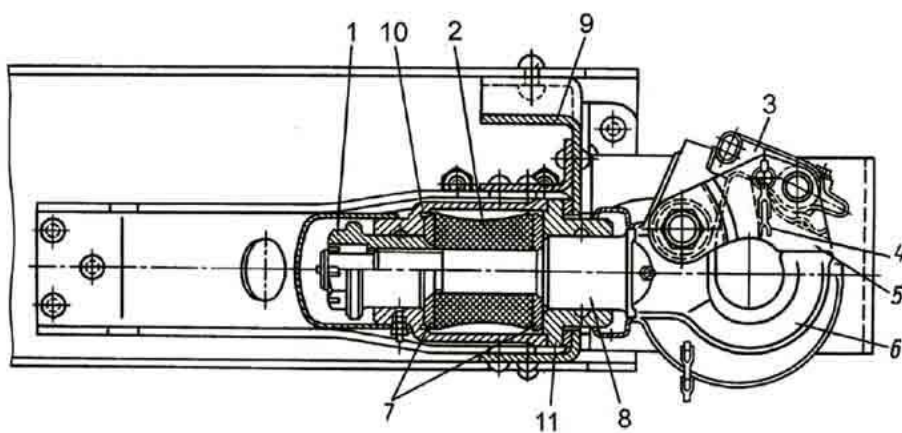
- 1) фаркоп, який дозволяє з'єднувати трактор з двовісними причепами та буксированими механізмами;
- 2) Гідравлічний гак - дозволяє здійснювати зчіпку з напівпричепами;
- 3) Тракторний причіп - дозволяє керувати трактором з двовісними причепами з високою швидкістю.

Для колісних тракторів новий тип фаркопа – універсальний підйомний фаркоп, який дозволяє зчіплювати з напівпричепами, двовісними причепами, а також причіпно-напівпричіпною сільськогосподарською технікою. До підйомного фаркопа входять: фаркоп ТЗП-3В – для зчіпування з двовісними причепами; фаркоп ТЗП-2В – для зчіпування з одновісними причепами та напівпричепами сільськогосподарської техніки; фаркоп ТЗП-1М-01, який використовується для з'єднання важких причепів та напівприцепів з трактором, та пристрій типу ТЗП-2Р «Пітон», який встановлюється замість фаркопа та призначений для з'єднання одновісних причепів та напівприцепів з трактором.

Найбільш поширеним є тягово-зчіпний пристрій типу «гак–петля», який ефективно працює в несприятливих дорожніх умовах. Такі тягово-зчіпні пристрої відзначаються простотою конструкції, легкістю виготовлення,

відносно малою масою та великими кутами гнучкості. Великі кути гнучкості забезпечують рух у складних дорожніх умовах і на місцевості з різноманітним рельєфом. Конструкція типу «гак–петля» передбачає наявність значних зазорів (до 10 мм) у з'єднанні «гак–петля» для полегшення зчеплення та розчеплення. Ці зазори призводять до підвищення динамічних навантажень та інтенсивного зношування деталей пристрою (спряженої пари), а також є причиною виходу з ладу елементів зчіпки (гака та петлі дишла). Конструкція гачкових пристроїв передбачає ручне зчеплення та розчеплення ланок. Маса тягово-зчіпного пристрою гачкового типу зазвичай не перевищує 30 кг. На практиці пристрій типу «гак–петля» забезпечує поворот зчіпної петлі навколо горизонтальної поздовжньої осі гака на 360° , поворот у вертикальній площині на $\pm 45^\circ$ та поворот у горизонтальній площині на $\pm 90^\circ$.

Стандартне з'єднання гачкового типу, обладнане двостороннім амортизатором, складається з тягового гака, встановленого на тракторі, та жорсткого дишла зі зчіпною петлею, з'єданого з причепом. На передньому кінці стрижня гака, встановленого у втулці, нагвинчена гайка, яка разом із втулкою забезпечує правильне поздовжнє переміщення гака. У середині корпусу розміщений гумовий пружний елемент у формі гіперболоїда, стиснутий шайбами (рисунок 7).



1 – гайка; 2 – пружний елемент; 3 – запобіжний замок; 4 – шплінт; 5 – накидна гайка; 6 – гак; 7 – шайби; 8 – стрижень гака; 9 – поперечка рами; 10 – корпус; 11 – втулка

Рисунок 7 – Конструкція тягово-зчіпного пристрою «гачок-петля»

При стисканні він змінює форму таким чином, що заповнює простір у корпусі. В інших конструкціях буксирувальних гаків як пружні елементи використовуються кільцеві, гвинтові циліндричні або конічні пружини, рисунок 8.

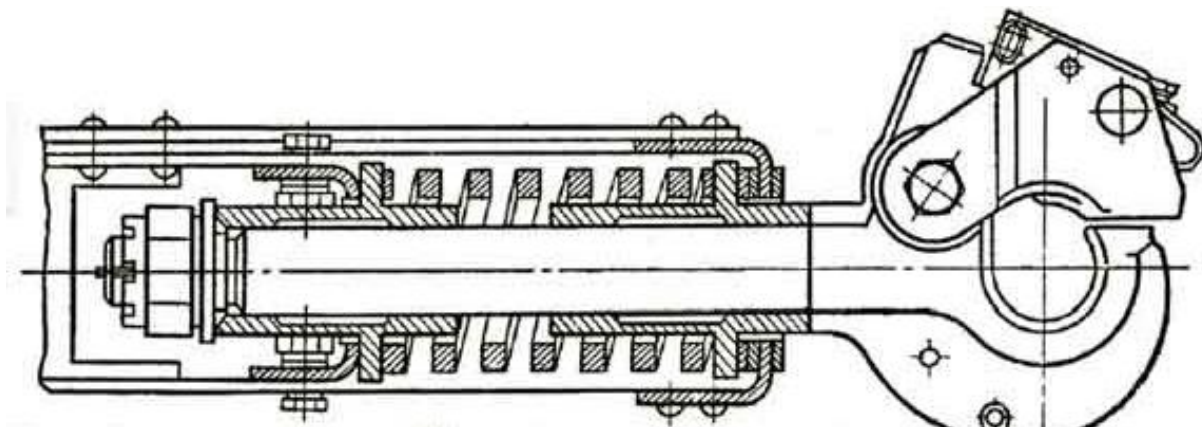


Рисунок 8 – Конструкція крюкового тягово-зчіпного пристрою з пружинним демпфером

У процесі експлуатації гайку не можна використовувати для регулювання осевого переміщення гака, оскільки її нагвинчування або відгвинчування призводить до збільшення осевого переміщення гака. У разі усадки гумового буфера між фланцями та гумовим буфером установлюють додаткові кільцеві прокладки. Використання зчіпної петлі причепів із меншим перерізом збільшує зношування та скорочує термін служби тягово-зчіпного пристрою.

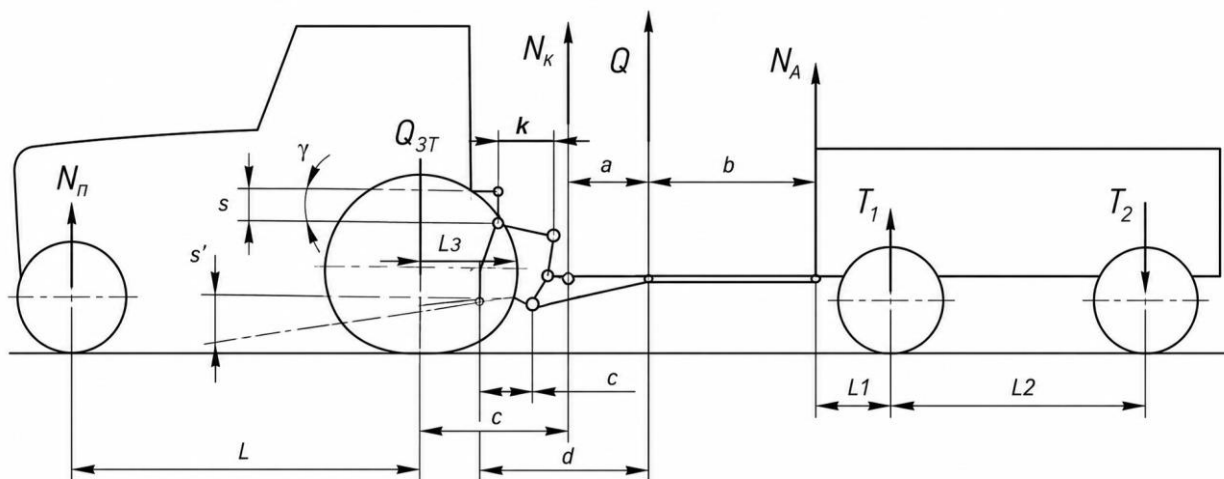
Гаківі пристрої відзначаються великою різноманітністю конструктивних виконань як самого гака, так і замка. Для забезпечення беззазорного зчеплення низкою фірм були розроблені спеціальні конструкції тягово-зчіпних пристроїв типу «гак–петля», у яких зазор може автоматично вибиратися за допомогою конічних роликів, пружин або пневматичних пристроїв за принципом «беззазорний гак» або «беззазорна петля». Такі пристрої оснащуються пневмоприводом, який автоматично усуває зазор у замку пристрою. Як силовий елемент використовується пневматична камера з рухомим штоком, змонтована з тильного боку задньої поперечини рами. Беззазорні зчіпні пристрої не набули широкого застосування через значне

ускладнення конструкції та технічного обслуговування, а також збільшення власної маси (до 60 кг).

На основі аналізу різних типів тягово-зчіпних пристроїв можна зробити висновок, що їх конструкції без застосування додаткових пристроїв не забезпечують підвищення тягово-зчіпних властивостей трактора під час агрегування з кормороздавачами та причепами.

2.3 Визначення тягово-зчіпних показників колісного трактора при перерозподілі навантажень між осями

На рисунку 9 наведена схема тягово-зчіпного пристрою, який дає змогу перерозподіляти навантаження між осями трактора з використанням його гідросистеми. Довантаження заднього моста здійснюється за рахунок перенесення частини навантаження з передніх осей трактора та причепа.



Q_{3T} — довантаження задньої осі трактора, кН; N_{Π} — розвантаження передньої осі трактора, кН; Q — зусилля, створюване на кінцях подовжувачів навісного пристрою трактора, кН; N_K — вертикальне навантаження на буксирний гак від дишла, кН; N_d — вертикальне навантаження на пальці кріплення дишла до рами причепа, кН; T_1 — розвантаження передньої осі причепа, кН; T_2 — довантаження задньої осі причепа, кН; P_1 — тиск у гідросистемі трактора, МПа; L — база трактора, мм; L_1 — відстань між точкою приєднання дишла до рами причепа та передньою віссю причепа (по горизонталі), мм; L_2 — база причепа, мм; a — відстань між точкою приєднання

дишла до буксирного гака та точкою прикладання сили Q до дишла, мм; b – відстань між точкою прикладання сили Q до дишла та точкою прикладання сили N_d , мм; c – відстань між точкою кріплення нижніх тяг навіски до остова трактора та точкою приєднання розкосів до нижніх тяг, мм; d – відстань між точкою кріплення поздовжніх нижніх тяг навіски до остова трактора та точкою прикладання сили Q до дишла, мм; e – довжина буксирного пристрою, мм; k – довжина плеча горизонтального важеля навіски, мм; S – довжина плеча поворотного важеля навіски, мм; α – кут повороту поздовжніх тяг від горизонтального положення, град.; β – кут повороту осі гідроциліндра від горизонтального положення, град.; R – радіус поршня циліндра силової гідросистеми трактора, мм.

Рисунок 9 – Схема дії сил при довантаженні задньої осі трактора

Згідно зі схемою, наведеною на рисунку 9, розраховуємо сили, що діють на тракторно-транспортний агрегат.

Визначаємо силу T_1 , яка характеризує розвантаження передньої осі кормороздавача, за формулою [7]:

$$T_1 = \frac{g \cdot 10^{-3} \cdot S \cdot \pi \cdot R^2 \cdot P_1 \cdot \cos^2 \alpha \cdot c \cdot \cos \beta \cdot a \cdot (L_1 + L_2)}{2 \cdot k \cdot d \cdot L_2 \cdot (a + b)}. \quad (1)$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с².

Приймаємо для трактора МТЗ-80 (82) такі розміри $S=300$ мм; $R=45$ мм; $P_1=16$ МПа; $\alpha=30$ град; $c=500$ мм; $\beta=20$ град; $a=700$ мм; $L_1=1200$ мм; $L_2=4500$ мм; $L_3=350$ мм; $L=2500$ мм; $k=450$ мм; $d=1250$ мм; $b=1350$ мм.

Підставляємо відомі значення та отримуємо за формулою (1):

$$T_1 = \frac{9,8 \cdot 10^{-3} \cdot 300 \cdot 3,14 \cdot 45^2 \cdot 16 \cdot \cos^2 30 \cdot 500 \cdot \cos 20 \cdot 700 \cdot (1200 + 4500)}{2 \cdot 450 \cdot 1250 \cdot 4500 \cdot (700 + 1350)} = 53,5 \text{ кг}$$

Розраховуємо зусилля довантаження задньої осі кормороздавача з виразу:

$$T_2 = \frac{g \cdot 10^{-3} \cdot S \cdot \pi \cdot R^2 \cdot P_1 \cdot \cos^2 \alpha \cdot c \cdot \cos \beta \cdot a \cdot L_1}{2 \cdot k \cdot d \cdot L_2 \cdot (a + b)}. \quad (2)$$

За формулою (2) отримуємо:

$$T_2 = \frac{9,8 \cdot 10^{-3} \cdot 300 \cdot 3,14 \cdot 45^2 \cdot 16 \cdot \cos^2 30 \cdot 500 \cdot \cos 20 \cdot 700 \cdot 1200}{2 \cdot 450 \cdot 1250 \cdot 4500 \cdot (700 + 1350)} = 11,3 \text{ кг.}$$

Визначаємо силу, що створюється на кінцях подовжувачів навісного обладнання трактора, за формулою:

$$Q = \frac{S \cdot \pi \cdot R^2}{2 \cdot k} \cdot g \cdot 10^{-3} \cdot P_1 \cdot \cos^2 \alpha \cdot \frac{c}{d} \cdot \cos \beta. \quad (3)$$

Підставляємо відомі значення та отримуємо

$$Q = \frac{300 \cdot 3,14 \cdot 45^2}{2 \cdot 450} \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} \cdot 16 \cdot \cos^2 30 \cdot \frac{500}{1250} \cdot \cos 20 = 123,7 \text{ кг.}$$

Визначте вертикальне навантаження на кріплення дишла на рамі розподільника кормів за виразом [7]:

$$N_o = \left(\frac{a}{a+b} \right) \cdot \frac{S \cdot \pi \cdot R^2 \cdot g \cdot 10^{-3} \cdot P_1 \cdot \cos^2 \alpha \cdot c \cdot \cos \beta}{2 \cdot k \cdot d}. \quad (4)$$

За формулою (4) розраховуємо

$$N_o = \left(\frac{700}{700 + 1350} \right) \cdot \frac{300 \cdot 3,14 \cdot 45^2 \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} \cdot 16 \cdot \cos^2 30 \cdot 500 \cdot \cos 20}{2 \cdot 450 \cdot 1250} = 42,06 \text{ кг.}$$

Знаходимо силу, спрямовану на розвантаження передньої осі трактора, за формулою:

$$N_n = \frac{S \cdot \pi \cdot R^2 \cdot P_1 \cdot \cos^2 \alpha \cdot c \cdot \cos \beta \cdot (d + L_3) \cdot g \cdot 10^{-3}}{2 \cdot k \cdot d \cdot L}. \quad (5)$$

Підставляємо значення у формулу (5) і отримуємо:

$$N_n = \frac{300 \cdot 3,14 \cdot 45^2 \cdot 16 \cdot \cos^2 30 \cdot 500 \cdot \cos 20 \cdot (1250 + 350) \cdot 9,8 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 450 \cdot 1250 \cdot 2500} = 43,6 \text{ кг.}$$

Визначаємо зусилля навантаження задньої осі трактора за формулою:

$$Q_{zm} = \frac{S \cdot \pi \cdot R^2 \cdot P_1 \cdot \cos^2 \alpha \cdot c \cdot \cos \beta \cdot g \cdot 10^{-3}}{2 \cdot k \cdot d} \cdot \left(\frac{(L_1 + L_2) \cdot a}{L_2 \cdot (a+b)} + \frac{d + L_3}{L} \right) \quad (6)$$

За формулою (6) розраховуємо:

$$Q_{zm} = \frac{300 \cdot 3,14 \cdot 45^2 \cdot 16 \cdot \cos^2 30 \cdot 500 \cdot \cos 20 \cdot 9,8 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 450 \cdot 1250} \cdot \left(\frac{(1200 + 4500) \cdot 700}{4500 \cdot (700 + 1350)} + \frac{1250 + 350}{2500} \right) =$$

$$= 132,4 \text{ кг.}$$

Тягова сила трактора в агрегаті з кормороздавальним агрегатом визначається за формулою:

$$P_m = P_{зч} - P_f, \quad (7)$$

де $P_{зч}$ – тангенціальна сила тяги від зчеплення, Н;

P_f – сила опору коченню коліс агрегату, Н.

Відносна сила тяги на зчепленні розраховується за формулою:

$$P_{сч} = \mu \cdot (N_2 + Q_{zm}), \quad (8)$$

де μ – коефіцієнт зчеплення двигуна з дорогою; приймаємо 0,4-0,6;

N_2 – навантаження на задню вісь трактора, Н.

Опір коченню коліс агрегату складається із суми опорів кожної осі агрегату:

$$P_f = f \cdot (N_1 - N_n) + f \cdot (N_2 + Q_{zm}) + f \cdot (N_3 - T_1) + f \cdot (N_4 + T_2), \quad (9)$$

де f – коефіцієнт опору коченню коліс; враховуючи рух по ґрунтовій дорозі, отримуємо $f=0,05-1,0$;

N_1, N_2 – навантаження на передню та задню осі трактора, Н;

N_3, N_4 – навантаження на передню та задню осі причепа, Н;

N_n – розвантаження передньої осі трактора, Н;

Q_{zm} – навантаження на задню вісь трактора, Н;

T_1 – розвантаження передньої осі причепа, Н;

T_2 – навантаження на задню вісь причепа, Н.

Розраховуємо значення сили опору коченню колісних вузлів за формулою (9) $P_f = 0,05 (10500 - 436) + 0,05 (24500 + 1324) + 0,05 (30000 - 535) + 0,05 (30000 + 113) = 4773,5 \text{ Н.}$

Визначаємо тангенціальну силу тяги від зчеплення з виразу (8)

$$P_{зч} = 0,5 \cdot (24500 + 1324) = 12912 \text{ Н.}$$

Тягова сила трактора в агрегаті з розподільником кормів розраховується за формулою (7): $P_m = 12912 - 4773,5 = 8138,5 \text{ Н}$.

У базовому варіанті розподільного агрегату МТЗ-80+КТУ-10 без додаткового навантаження задньої осі трактора тангенціальна сила тяги на зчепленні становить $P_{зч}=12250 \text{ Н}$, тягловая сила $P_m=12250 - 4750=7500 \text{ Н}$.

Таким чином, за рахунок перерозподілу навантажень на осі трактора під час роботи з кормороздавачем забезпечується підвищення тягової сили трактора на 8 %, що дасть змогу знизити буксування рушіїв і збільшити швидкість руху агрегату під час доставки корму.

На рисунку 10 наведено залежність дотичної сили тяги за зчепленням $P_{зч}$ від величини довантаження ведучої осі трактора [7].

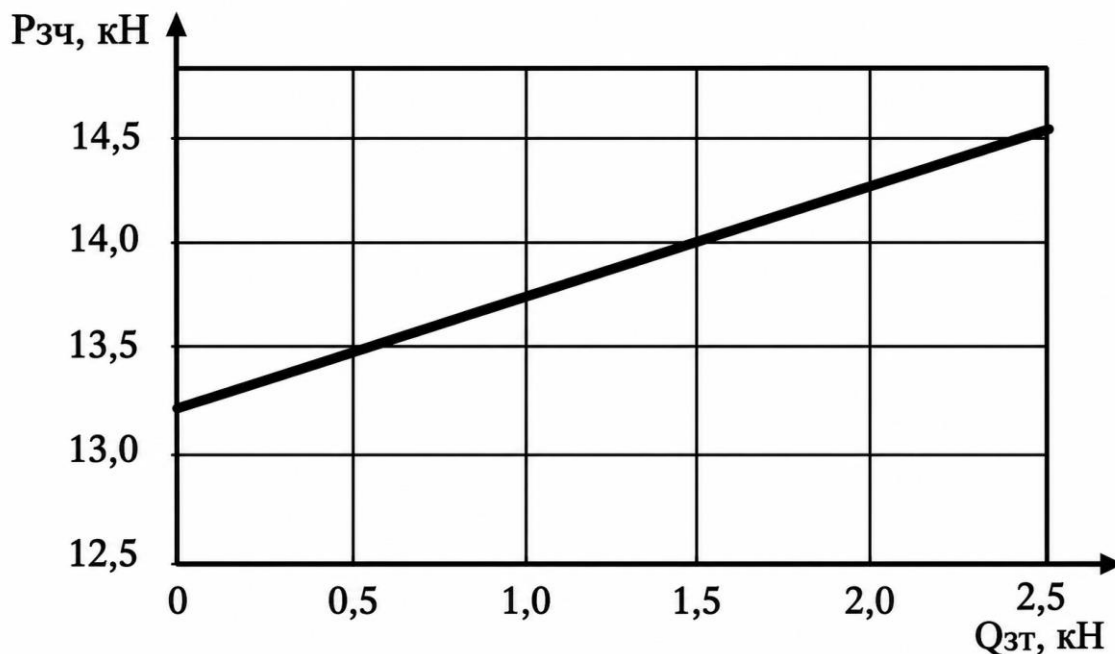


Рисунок 10 – Залежність тангенціальної сили тяги від зчеплення $P_{зч}$ від значення додаткового навантаження $Q_{зт}$ ведучого моста трактора

Аналіз показує, що трактор класу 1,4 т збільшує запас тягового зусилля $P_{зч}$ на 56% при збільшенні додаткового навантаження на ведучі колеса трактора $Q_{зт}$ на 2,24 кН.

2.4 Визначення техніко-економічних показників трактора МТЗ-80 з удосконаленим тягово-зчіпним пристроєм

На фермах доставка та роздача кормів організована у вигляді потокової лінії, при цьому часто використовуються такі схеми:

- доставка кормів мобільними засобами, роздача стаціонарними кормозаправниками;
- доставка та роздача кормів мобільними кормозаправниками;
- доставка та роздача кормів стаціонарними засобами.

Приймаємо доставку та роздачу кормів мобільними кормозаправниками КТУ-10. Для розрахунку відстані транспортування L приймаємо залежно від виду корму:

- висівки $L_F=0,5\ldots2,5$ км;
- силосна трава $L_C=0,8\ldots3,5$ км;
- зелені корми $L_3=1,5\ldots6,5$ км;
- комбікорм $L_K=0,9\ldots2,5$ км.

Добовий обсяг робіт з доставки та роздачі певного виду корму на 1 голову великої рогатої худоби визначається за формулою:

$$G_{\text{доб}} = q_i \cdot L, \quad (10)$$

де q_i - кількість корму, що входить до раціону, на одну голову, т [8];

L - довжина шляху переміщення корму, км.

За формулою (10) отримуємо:

для силосу $G_{\text{доб}} = 0,0881 \cdot 2 = 0,17$ т·км.

для висівки $G_{\text{доб}} = 0,02019 \cdot 1,5 = 0,03$ т·км.

для вирощування сіна $G_{\text{доб т}} = 0,03624 \cdot 2 = 0,072$ т·км.

для мінеральних добавок $G_{\text{доб}} = 0,00447 \cdot 2 = 0,009$ т·км.

для концентратів $G_{\text{доб}} = 0,01936 \cdot 1,5 = 0,029$ т·км.

Визначаємо щоденний оборот на фермі:

$$G_{\text{доб.о}} = 0,17 + 0,03 + 0,072 + 0,009 + 0,029 = 0,31 \text{ т·км.}$$

При поголів'ї 2000 тварин загальний щоденний обіг на фермі становить $G_{\text{заг}} = 2000 \cdot G_{\text{доб.о}} = 2000 \cdot 0,31 = 620$ т·км = 68,9 т.

Визначаємо час одного рейсу з виразу:

$$T_p = t_{\text{загр}} + t_{\text{гр}} + t_{\text{разд}} + t_{\text{хх}} + t_{\text{пз}}, \quad (11)$$

де $t_{\text{загр}}$, $t_{\text{гр}}$, $t_{\text{разд}}$, $t_{\text{хх}}$, $t_{\text{пз}}$ - завантаження, переміщення з вантажем, розподіл, холостий хід та час підготовчих і завершальних робіт відповідно.

Тривалість транспортування корму становить:

$$t_{\text{гр}} = L / v_r, \quad (12)$$

де v_r - швидкість руху кормороздавача з вантажем (кормом), км/год;

L - відстань перевезення корму, км (приймаємо $L = 2$ км).

Використовуючи формулу (12), обчислюємо для базової одиниці в $v_r = 10$ км/год

$$t_{\text{гр}} = 2 / 10 = 0,2 \text{ год};$$

для розподільника корму з додатковим навантаженням на задню вісь трактора $v_r = 12,5$ км/год, звідси $t_{\text{гр}} = 2 / 12,5 = 0,16$ год.

Тривалість роботи агрегату без навантаження (холостого ходу):

$$\text{для базового агрегату } t_{\text{хх}} = L / v_{\text{хх}} = 2 / 15 = 0,13 \text{ год};$$

$$\text{для агрегату з додатковим навантаженням } t_{\text{хх}} = L / v_{\text{хх}} = 2 / 17,5 = 0,11 \text{ год.}$$

Швидкість агрегату під час роздачі корму становить $v_p = 1,9$ км/год.

Водночас, час роздачі $t_{\text{разд}} = 0,3 / 1,9 = 0,16$ ч. Вважаємо, що час завантаження корму $t_{\text{загр}} = 0,13$ год, а час на підготовчі та завершальні роботи $t_{\text{пз}} = 0,22$ год.

З виразу (11) обчислюємо:

$$\text{для основної одиниці } T_p = 0,13 + 0,2 + 0,16 + 0,13 + 0,22 = 0,84 \text{ год};$$

$$\text{для агрегату з додатковим навантаженням } T_p = 0,13 + 0,16 + 0,16 + 0,11 + 0,22 = 0,78 \text{ год.}$$

Визначаємо продуктивність розподільника електроенергії [8]:

$$W_{\phi} = G_{\text{разд}} / T_p = V \cdot c \cdot k_3 / T_p, \quad (13)$$

де V - об'єм корпусу кормозаготівельного дозатора, м^3 ; для кормозаготівельного дозатора КТУ-10 приймаємо $V = 10 \text{ м}^3$;

c - насипна маса корму, $\text{т}/\text{м}^3$; приймаємо $c = 0,7 \text{ т}/\text{м}^3$;

k_3 - коефіцієнт заповнення кузова; приймаємо $k_3 = 0,9$.

За формулою (13) розраховуємо:

для базового агрегату $W_{\phi} = 10 \cdot 0,7 \cdot 0,9 / 0,84 = 7,5$ т/год;

для агрегату з довантаженням задньої осі трактора $W_{\phi} = 10 \cdot 0,7 \cdot 0,9 / 0,78 = 8,1$ т/год.

Визначаємо необхідну кількість одиниць для виконання добового робочого навантаження за формулою:

$$N_a = G_{\text{общ}} / W_{\phi} \cdot T_{\text{см}} \cdot k_{\text{см}}, \quad (14)$$

де $T_{\text{см}}$ – час зміни, год; приймаємо $T_{\text{см}} = 4$ год;

$k_{\text{см}}$ – коефіцієнт використання змінного часу; приймаємо $k_{\text{см}} = 0,75$.

Розраховуємо для базового агрегату $N_a = 68,9 / 7,5 \cdot 4 \cdot 0,75 = 3,1$ од.

для агрегату з додатковим навантаженням на задню вісь трактора $N_a = 68,9 / 8,1 \cdot 4 \cdot 0,75 = 2,8$ од.

Розраховуємо цю конкретну вартість за формулою:

$$Z_{mp} = (m_1 + m_2) / W_{\phi}, \quad (15)$$

де m_1 и m_2 – кількість операторів машин та допоміжних робітників на одиницю; $m_1 = 1$, $m_2 = 0$.

Розраховуємо для базового агрегату за формулою (15):

$$Z_{mp} = (1 + 0) / 7,5 = 0,13 \text{ люд.год/т.}$$

для агрегату з довантаженням задньої осі трактора:

$$Z_{mp} = (1 + 0) / 8,1 = 0,12 \text{ люд.год /т.}$$

Розраховуємо питому витрату палива на виконання робіт за формулою:

$$q_m = G_{\text{год}} \cdot K_T / W_{\phi}, \quad (16)$$

де $G_{\text{год}}$ – Годинна витрата палива трактора МТЗ-80 при номінальній потужності двигуна; $G_{\text{год}} = 12,5$ кг [9];

K_T – поправний коефіцієнт, що враховує неповне навантаження двигуна; $K_T = 0,9$ [10].

Підставляємо значення формулу (16) і отримуємо:

- для базового агрегату

$$q_m = 12,5 \cdot 0,9 / 7,5 = 1,50 \text{ кг/т.}$$

- для агрегату з додатковим навантаженням на задню вісь трактора

$$q_m = 12,5 \cdot 0,9 / 8,1 = 1,38 \text{ кг/т.}$$

На основі проведених розрахунків можна зробити висновок, що при використанні трактора МТЗ-80 з довантаженням задньої осі в агрегаті з кормороздавачем КТУ-10 забезпечується підвищення продуктивності на 7,4 %, зниження питомих витрат праці на 7,7 % та витрати палива на 8 %.

3 КОНСТРУКТИВНА РОЗРОБКА

3.1 Аналіз конструктивних рішень щодо вдосконалення тягово-зчіпних пристроїв тракторів класу 14 кН

Залежно від виду виконуваних робіт трактори тягового класу 14 кН можуть комплектуватися різними типами тягово-зчіпних пристроїв. Під час виконання транспортних робіт, що полягають в агрегуванні причепів, кормороздавачів тощо, найчастіше застосовуються тягово-зчіпні пристрої ТЗП-1Ж та ТЗП-3В, які передбачають установлення поперечини з причіпною сережкою або буксирного гака. Використання базових тягово-зчіпних пристроїв не дає змоги здійснювати довантаження задніх ведучих коліс трактора, необхідність у якому виникає під час роботи у складних дорожніх умовах. У зв'язку з цим пропонуються різні конструктивні рішення щодо вдосконалення тягово-зчіпного пристрою трактора, які забезпечують можливість довантаження ведучих коліс трактора під час виконання транспортних робіт.

Установлення додаткового механізму довантаження тягово-зчіпного пристрою трактора запропоновано в патенті № 2137652 «Пристрій для підвищення прохідності колісних тракторів під час роботи з причепами» [11]. Даний тягово-зчіпний пристрій для з'єднання колісного трактора з причепом містить жорсткий силовий зв'язок, який з'єднує дишло причепа з гідрогаком трактора, та гнучкий силовий зв'язок, що з'єднує поперечину нижніх поздовжніх тяг навіски трактора з передньою віссю причепа. Пристрій оснащений додатковим пружним силовим зв'язком, який включає пружину, закріплену на поперечині та з'єднану через сполучну ланку і зворотний зв'язок із силовим регулятором, сполученим із гідроциліндром. Даний пристрій забезпечує довантаження задніх коліс трактора за рахунок перенесення частини ваги з передньої осі причепа на задні колеса трактора. Недоліком цієї конструкції є необхідність установлення додаткових механізмів, що

ускладнює конструкцію тягово-зчіпного пристрою трактора та знижує технічну надійність тракторно-транспортного агрегату.

Пропонується конструкцію тягово-довантажувального пристрою (патент №2 361 747 С1) [12]. Пристрій створює додаткове зусилля на осі трактора під час руху з причепом. Метою запропонованого винаходу є довантаження задньої осі трактора зі збереженням його керованості. Це досягається тим, що з'єднання верхнього шарніра Гука з кронштейном, жорстко закріпленим на тракторі, виконано у вигляді рухомого кріплення з можливістю переміщення повзуна, на якому закріплений шарнір, по пазах кронштейна у вертикальній площині трактора.

Недоліком цього технічного рішення є те, що пристрій може використовуватися лише під час агрегування напівпричепів.

У патентах №2101196 та №2127198 запропоновано конструктивні рішення, які забезпечують довантаження задніх ведучих коліс трактора за рахунок установлення у тягово-зчіпному пристрої пружних елементів, що згладжують різкі змінні навантаження з боку причепа [13, 14]. Тягово-зчіпний пристрій для з'єднання тягача з колісним причепом забезпечує згладжування динамічних навантажень за будь-яких їх величин і різного завантаження причепа [14]. Під час руху транспортного агрегату з різним вантажем виникають змінні навантаження різної величини, які передаються на тягач. Для зменшення впливу цих навантажень на тягач необхідно забезпечити роботу тягово-зчіпного пристрою в широкому діапазоні дії змінних навантажень. Недоліком даних конструкцій тягово-зчіпних пристроїв є низький ефект довантаження ведучих коліс трактора при їх застосуванні.

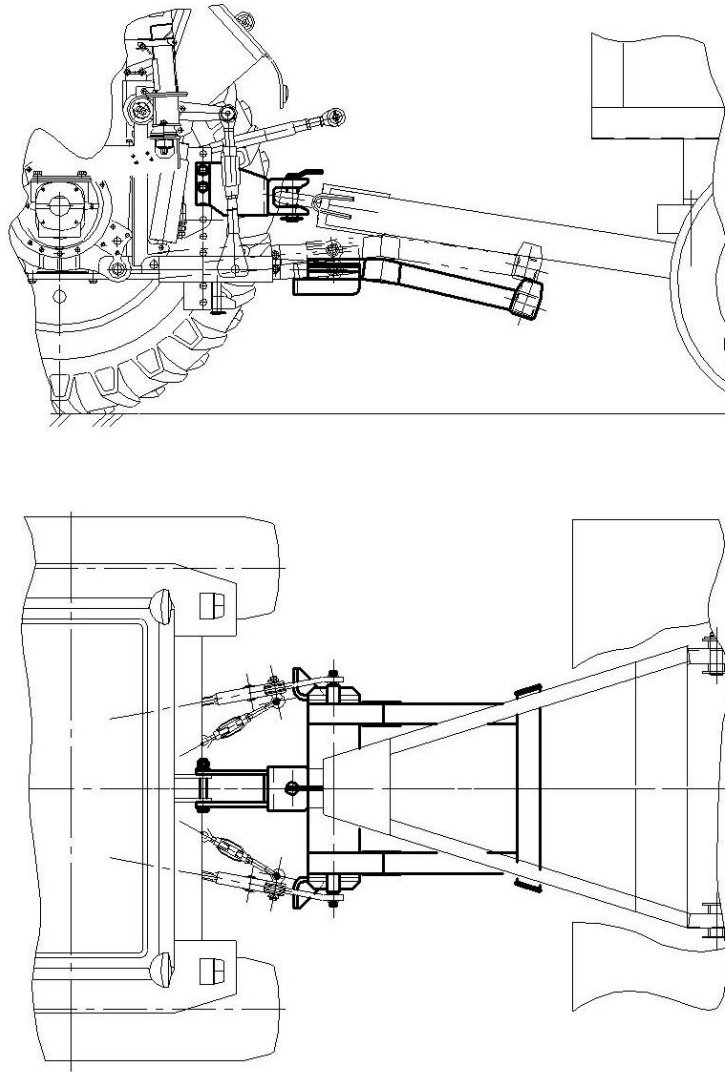
Таким чином, запропоновані конструктивні рішення щодо модернізації тягово-зчіпних пристроїв тракторів тягового класу 14 кН, спрямовані на забезпечення довантаження ведучих коліс під час агрегування причіпних машин, відзначаються складністю конструкції, що знижує технічну надійність тракторно-транспортного агрегату, а також не здатні забезпечити значні довантажувальні зусилля на ведучі колеса трактора.

3.2 Структурна схема та принцип роботи запропонованого тягово-зчіпного пристрою

У тваринницькому виробництві дорожні умови визначають швидкість руху транспортних засобів у межах 6...10 км/год, при цьому спостерігаються високий опір переміщенню транспортних засобів, буксування, підвищена витрата палива, зниження продуктивності транспортних агрегатів та зростання собівартості робіт. Поліпшення показників використання тракторно-транспортного агрегату можна забезпечити за рахунок більш повного використання потужності колісних тракторів. Під час руху трактора з кормороздавачем дорогами з низькими тягово-зчіпними властивостями доцільним є збільшення зчіпної ваги трактора, раціональним способом підвищення якої є перерозподіл навантажень між осями транспортного агрегату. Перерозподіл навантажень між осями транспортного агрегату можна забезпечити шляхом удосконалення тягово-зчіпного пристрою трактора з використанням штатної гідросистеми трактора через вплив на підйом передньої осі причепа за допомогою подовжувачів нижніх тяг навіски та дишла причепа. При цьому збільшується рушійна сила на ведучих колесах трактора, що зумовлює зростання тягового зусилля.

Запропонована конструкція тягово-зчіпного пристрою трактора включає зварну рамку 1, навішену через осі на нижні важелі навіски (рисунок 11). На остові трактора за допомогою болтів 4 закріплена сережка 2, яка служить для приєднання дишла 5 кормороздавача. Приєднання петлі дишла 5 кормороздавача до сережки 2 трактора здійснюється фіксатором 3 (рисунок 11).

Процес роботи вдосконаленого тягово-зчіпного пристрою відбувається таким чином. До трактора через сережку 2 за допомогою фіксатора 3 приєднується дишло 5 кормороздавача (рисунок 11).



1 – рамка; 2 – сережки; 3 – фіксатор; 4 – болт; 5 – дишло

Рисунок 11 – Схема вдосконаленого тягово-зчіпного пристрою

Під час транспортування кормороздавача у разі підвищеного буксування рушіїв здійснюється довантаження ведучих коліс трактора. Для цього за допомогою гідравлічної системи трактора виконується піднімання рамки 1, яка, впливаючи на дишло 5, знімає частину ваги з переднього моста кормороздавача, тим самим додатково навантажуючи задні ведучі колеса трактора. Із збільшенням довантаження ведучих коліс трактора поліпшується їх зчеплення з дорогою та зростає запас тягового зусилля. За нормального зчеплення рушіїв з дорогою навіска з рамкою 1 опускається, і навантаження знову переноситься на передній міст кормороздавача.

Таким чином, запропонований тягово-зчіпний пристрій забезпечує можливість перерозподілу навантажень на осях тракторно-транспортного агрегату залежно від дорожніх умов, а його застосування підвищує тягове зусилля трактора до 10 % та знижує витрату палива до 15 %.

3.3 Перевірочний розрахунок рамки на міцність

У конструкції тягово-зчіпного пристрою рамка служить для піднімання дишла кормороздавача. Рамка жорстко закріплюється на нижніх важелях задньої навіски трактора. Під час піднімання дишла кормороздавача на рамку діє згинальний момент від навантаження, що знімається з передньої осі кормороздавача. Згідно з розрахунками, наведеними в розділі 2.3 дипломного проєкту, приймаємо силу, що діє на рамку, рівною $Q = 1250 \text{ Н}$.

Згинальний момент $M_{з2}$, який діє на рамку, буде максимальним у момент піднімання дишла кормороздавача, коли сила Q досягає максимального значення $Q = 1250 \text{ Н}$. Розглядаємо рамку у вигляді жорстко закріпленої консольної балки та будуємо епюри поперечної сили Q і згинального моменту $M_{з2}$, що діють на балку (рисунок 12).

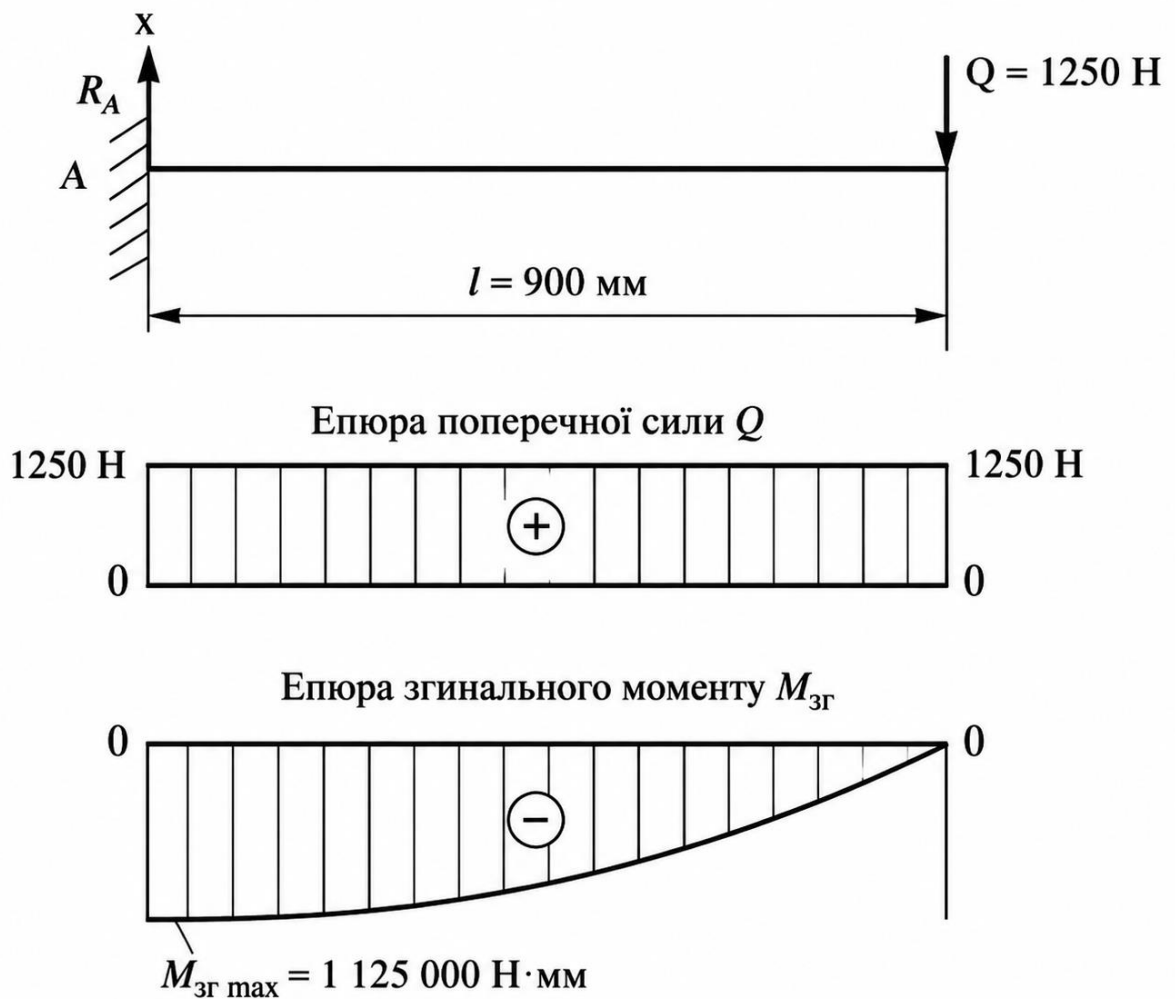


Рисунок 12 – Епюра поперечних сил Q та згинальних моментів $M_{зг}$.

Реакція від чинної сили Q в опорі A дорівнює $R_a = Q = 1250$ Н.

Визначаємо максимальний згинальний момент $M_{зг \max}$ який буде діяти на рамку в місці кріплення її до тяг навішування [15]:

$$M_{зг \max} = Q \cdot l = 1250 \cdot 900 = 1125000 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Як матеріал каркасної балки беремо квадратну трубу перерізом 80x80x5 мм.

Осьовий момент опору при згинанні визначається за формулою [15]:

$$W_c = \frac{4}{3} \cdot B^2 \cdot s, \quad (17)$$

де B – ширина труби, мм; $B = 80$ мм;

s – товщина стінки труби, мм; $s = 5$ мм.

За формулою (17) розраховуємо $W_c = 4/3 \cdot 80^2 \cdot 5 = 42667 \text{ мм}^3$.

Умова міцності на згин має такий вигляд: [16]:

$$\sigma_{зг.} = \frac{M_{зг.}}{W} \leq [\sigma_{из.}] , \quad (18)$$

де $\sigma_{зг.}$ - максимальне напруження згину, Н/мм²;

$[\sigma_{зг.}]$ - допустимі напруження згину, Н/мм²; для сталі 20 $[\sigma_{зг.}] = 380 \text{ Н/мм}^2$ [17];

Підставляємо відомі значення в умову (18) і отримуємо:

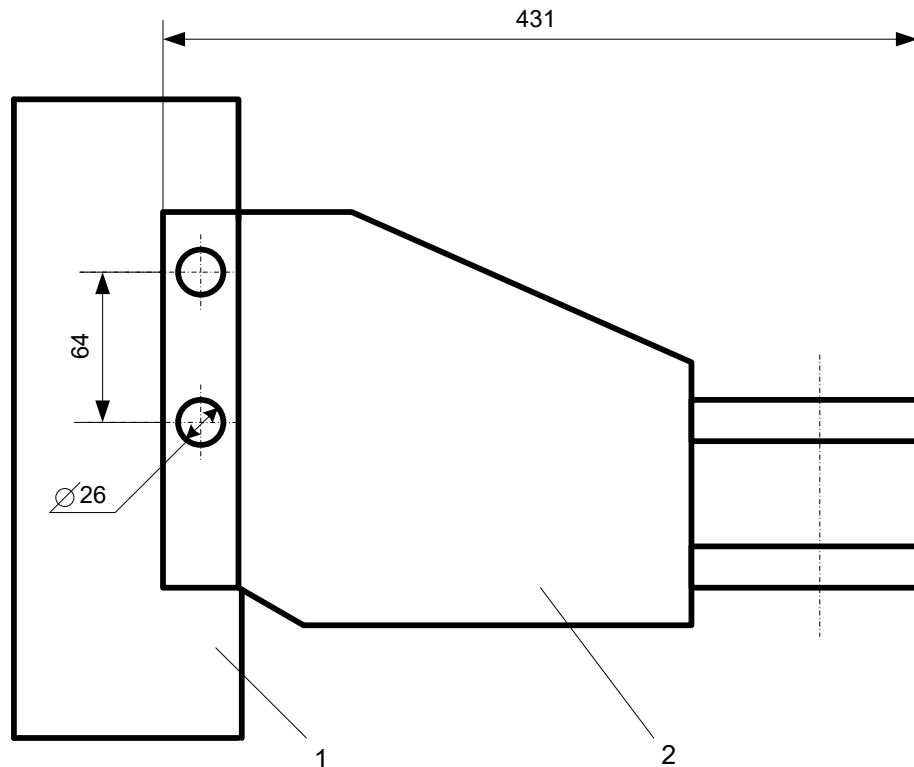
$$\sigma_{зг.} = \frac{1125000}{42667} = 26,4 \text{ Н/мм}^2 \leq 380 \text{ Н/мм}^2.$$

В результаті розрахунку було встановлено, що умова міцності та запас міцності рами під впливом максимального згинального моменту виконуються $M_{зг. \text{ max}}$ складає:

$$n_{зг.} = \frac{[\sigma_{зг.}]}{\sigma_{зг.}} = \frac{380}{26,4} = 14,4.$$

3.4 Розрахунок болтового з'єднання сережки з рамою трактора

У конструкції тягово-зчіпного пристрою сережка служить для приєднання до неї петлі дишла кормороздавача та сприймає тягове навантаження під час агрегатування кормороздавача. Сережка кріпиться до остова трактора за допомогою двох болтів М24×125. Схема болтового з'єднання наведена на рисунку 13.



1 - остов трактора; 2 - сержка

Рисунок 13 – Схема болтового з'єднання

Приймаємо, що болти у з'єднанні навантажені однаково, та визначаємо зовнішню силу, яка діє на болтове з'єднання в цілому, а потім силу, що припадає на один болт. У процесі роботи болтове з'єднання навантажене переважно поперечною силою і частково поздовжньою. Навантаження на болтове з'єднання визначається як тяговий опір кормороздавача за формулою:

$$P_T = \xi \cdot m_k, \quad (19)$$

де ξ – коефіцієнт перекочування коліс; приймаємо $\xi = 0,09$ [18];

m_k – вага кормороздавача з вантажем, Н; приймаємо $m_k = 50000$ Н.

Підставляємо значення у формулу (19) і знаходимо

$$P_T = 0,09 \cdot 50000 = 4500 \text{ Н.}$$

Тоді сила, що діє на болт, дорівнює $P_1 = P_T / 2 = 4500 / 2 = 2250$ Н. Розрахуємо болт на зсув та стиск. Проведемо перевірочний розрахунок болтів за умовами

міцності. При навантаженні болта осьюовою силою розтягу умова міцності має такий вигляд [19]:

$$\sigma_p = \frac{P_1}{\pi \cdot d_1^2 / 4} \leq [\sigma_p], \quad (20)$$

де σ_p – розрахункова напруга розтягування в поперечному перерізі нарізаної частини болта, Н/мм²;

P_1 – сила, що розтягує болт, Н;

d_1 – внутрішній діаметр різьблення болта, мм;

$[\sigma_p]$ – допустима напруга на розтягування болта, Н/мм².

Допустиме напруження розтягу на межі текучості матеріалу болта $\sigma_T = 550$ Н/мм² (сталь 40Х) розраховуємо за формулою:

$$[\sigma_p] = \sigma_T / [n], \quad (21)$$

де $[n]$ – необхідний коефіцієнт запасу міцності; приймаємо $[n] = 4,5$ [19].

За формулою (21) розраховуємо $[\sigma_p] = 550 / 4,5 = 122,2$ Н/мм².

Підставляємо значення за умови (21) і отримуємо:

$$\sigma_p = \frac{2250}{3,14 \cdot 24^2 / 4} = 5,0 \text{ Н / мм}^2 \leq [\sigma_p] = 122,2 \text{ Н/мм}^2.$$

Таким чином, умова міцності різьби на стиск виконується.

Розрахуємо гвинтове з'єднання на зсув з умови міцності:

$$\tau_c = \frac{P}{\pi \cdot d^2 / 4} \leq [\tau_c], \quad (22)$$

де τ_c – розрахункова напруга зрізу різьблення болта, Н/мм²;

P – поперечна зовнішня сила, що зрізає болт, Н; приймаємо $P = P_1 = 2250$ Н;

d – діаметр стрижня болта у небезпечному перерізі, мм;

$[\tau_c]$ – допустима напруга на розтягування болта, Н/мм².

Допустиму напругу на зріз для болтів рекомендується приймати $[\tau_c] = (0,2 \dots 0,3) \cdot \sigma_T$, для сталі 40Х $[\tau_c] = 0,2 \cdot 550 = 110$ Н/мм².

Підставляємо відомі значення за умови (22) і отримуємо:

$$\tau_c = \frac{2250}{3,14 \cdot 24^2 / 4} = 5,0 \text{ Н/мм}^2 \leq [\tau_c] = 110 \text{ Н/мм}^2.$$

Таким чином, умова міцності різьблення болта на зріз при використанні з'єднання сережки до кістяка трактора болтів $d=24,0$ мм виконується.

При дії на затягнуте з'єднання центральної сили, що відриває, зовнішнього навантаження P_l тільки частина її xP додатково навантажує болти, а решта $(1-x) \cdot P$ йде на розвантаження стику. Значення коефіцієнта x при з'єднанні деталей з металу - 0,2 ... 0,3 [19].

Визначаємо необхідне зусилля затягування за умови збереження щільності стику:

$$P_{зам} = k \cdot (1 - x) \cdot P_l, \quad (23)$$

де k - коефіцієнт затяжки з урахуванням постійного зовнішнього навантаження; приймаємо $k=1,4$ [19].

Підставляємо відомі значення формулу (23) і отримуємо:

$$P_{зам} = 1,4 \cdot (1 - 0,25) \cdot 2250 = 2362,5 \text{ Н.}$$

Амплітуду напруги в болті визначаємо за формулою:

$$\sigma_a = \frac{xP_l}{2F_p}, \quad (24)$$

де F_p – площа небезпечного перерізу болта, мм².

Розраховуємо площу небезпечного перерізу болта за формулою:

$$F_p = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (25)$$

де d - діаметр болта, мм; приймаємо $d=24$ мм.

$$\text{За формулою (25) знаходимо } F_p = \frac{3,14 \cdot 24^2}{4} = 452,2 \text{ мм}^2.$$

Підставляємо значення у формулу (24) і знаходимо:

$$\sigma_a = \frac{0,25 \cdot 2250}{2 \cdot 452,2} = 0,62 \text{ Н/мм}^2.$$

Максимальну напругу в площині стику визначаємо з умови:

$$\sigma_{max} = \sigma_{зат.} + 2\sigma_a, \quad (26)$$

де $\sigma_{\text{зат.}}$ – напруга затягування стику, Н/мм².

Напруга затягування стику визначається за формулою:

$$\sigma_{\text{зат.}} = \frac{P_{\text{зат.}}}{F_{\text{ст.}}}, \quad (27)$$

де $F_{\text{ст.}}$ - площа стику, що припадає на 1 болт, мм².

Визначаємо площу стику з виразу:

$$F_{\text{ст.}} = \frac{L \cdot b}{z}, \quad (28)$$

де L і b – довжина та ширина пластини сережки, мм; приймаємо $L=150$ мм; $b=45$ мм.

$$\text{За формулою (28) знаходимо } F_{\text{ст.}} = \frac{150 \cdot 45}{4} = 1687,5 \text{ мм}^2.$$

Визначаємо напругу затяжки за формулою (27):

$$\sigma_{\text{зат.}} = \frac{2362,5}{1687,5} = 1,4 \text{ Н/мм}^2.$$

За формулою (26) знаходимо максимальну напругу в площині стику: $\sigma_{\text{max}} = 1,4 + 2 \cdot 0,62 = 2,64 \text{ Н/мм}^2$.

Визначаємо запас міцності за максимальною напругою в стику:

$$n = \frac{\sigma_T}{\sigma_{\text{max}}} \geq 1,5, \quad (29)$$

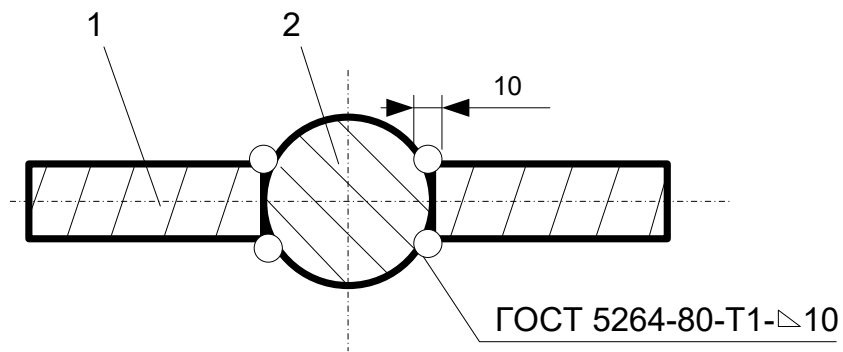
де σ_T - межа плинності матеріалу болта, Н/мм²; $\sigma_T = 550 \text{ Н/мм}^2$ [17].

$$\text{За формулою (29) розраховуємо } n = \frac{550}{2,64} = 208,3 \geq 1,5.$$

Відповідно до розрахунків умова міцності стику виконується.

3.5 Розрахунок на міцність зварного з'єднання

Для забезпечення жорсткості кріплення осі на брусі рамки до неї зварним швом приварені косинки. Виконуємо розрахунок на міцність зварних швів з'єднання косинки 1 та осі 2 рамки тягово-зчіпного пристрою (рисунок 14).



1 - косинка; 2 – вісь

Рисунок 14 – Ескіз зварного з'єднання косинок та осі рамки

Зварне з'єднання виконане у тавр кутовими швами з катетом шва 10 мм. Вісь плити навантажена моментом у площині, перпендикулярній до площини стику.

Визначаємо згинальний момент, що діє на вісь, за формулою:

$$M_{uz} = P_2 \cdot l_1, \quad (30)$$

де P_2 – сила, що діє на вісь і визначається навантаженням на рамку, Н; $P_2 = Q/2 = 1250/2 = 625$ Н;

l_1 – плече дії сили на вісь, мм; приймаємо $l_1 = 120$ мм.

За формулою (30) знаходимо $M_{uz} = 625 \cdot 120 = 75000$ Н·мм.

Розрахунок зварного шва виконується за умовою міцності зварного з'єднання під дією сил стиску та розтягу [19]:

$$\sigma = \frac{6 \cdot M_{3z}}{l^2 \cdot s} \leq [\sigma']_p, \quad (31)$$

де M_{3z} – згинальний момент у площині перпендикулярної площини стику, Н·мм;

l – довжина шва, мм; $l = 4 \cdot 20,0 = 80,0$ мм;

s – товщина тоншої з деталей, що з'єднуються, мм; $s = 10,0$ мм;

$[\sigma']_p$ – допустимі напруги при розтягуванні, МПа.

Допустима напруга при розтягуванні $[\sigma']_p$ для сталі Ст3 $[\sigma]_p = 160$ МПа [17].

З умови міцності (31) розраховуємо:

$$\sigma = \frac{6 \cdot 75000}{80,0^2 \cdot 10,0} = 7,0 \text{ Н/мм}^2 = 87,9 \text{ МПа} \leq [\sigma']_p = 160 \text{ МПа}.$$

Таким чином, умова міцності на розтяг та стиск зварного шва вала та глушника виконується.

3.6 Перевірка перерізу фіксатора на зріз

З'єднання дишла кормороздавача із сережкою, закріпленою на остові трактора, здійснюється за допомогою фіксатора. Під час руху тракторно-транспортного агрегату на фіксатор діє навантаження $P_m = 4500$ Н, що дорівнює тяговому опору кормороздавача. Схема навантаження фіксатора наведена на рисунку 15.

Для перевірки перерізу фіксатора на зріз визначаємо допустиме напруження на зріз за формулою:

$$\tau = \frac{P_m}{2 \cdot F_\phi} \leq [\tau]_c, \quad (32)$$

де F_ϕ – площа поперечного перерізу фіксатора, мм²;

$[\tau]_c$ – допустиме напруження зсуву, МПа; для сталі 40 $[\tau]_c = 180$ МПа.

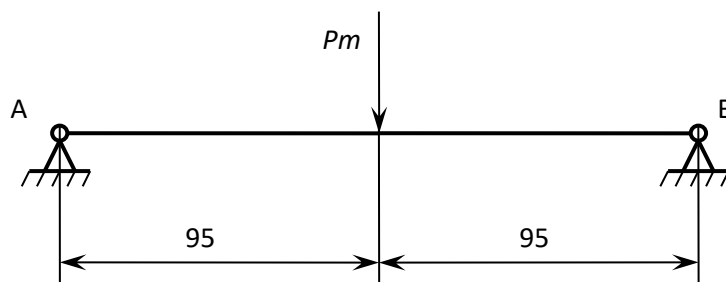


Рисунок 15 – Схема навантаження фіксатора

Площа поперечного перерізу фіксатора розраховуємо з виразу:

$$F_{\phi} = \frac{\pi \cdot d_{\phi}^2}{4}, \quad (33)$$

де d_{ϕ} – діаметр фіксатора, мм; приймаємо $d_{\phi}=40$ мм.

Підставляємо значення у формулу (33) і знаходимо:

$$F_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 40^2}{4} = 1256 \text{ мм}^2.$$

$$\text{З виразу (32) визначаємо } \tau = \frac{4500}{2 \cdot 1256} = 1,8 \text{ МПа} \leq 180 \text{ МПа}.$$

За результатами розрахунків встановлено, що міцність фіксатора на зріз забезпечується.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

У сучасному сільськогосподарському виробництві 80–90 % технологічних процесів і операцій виконуються машинами та механізмами. Людина, здійснюючи трудову діяльність, взаємодіє з машинами та механізмами, тим самим наражаючись на небезпеки з боку рухомих механізмів, несприятливого стану навколишнього середовища, фізичних та емоційних навантажень. Для безпечного виконання того чи іншого виду робіт розроблено правила техніки безпеки, які включають загальні вимоги безпеки, вимоги до технічного стану машин, вимоги електро- та пожежної безпеки, а також виробничої санітарії. В умовах, коли людина працює з новою високопродуктивною, більш складною та потужною технікою, поряд із полегшенням праці відбувається підвищення потенційної небезпеки травмування та виникнення професійних захворювань, що пояснюється зростанням психологічного навантаження на організм людини. Суворе дотримання вимог техніки безпеки в таких умовах дає змогу звести до мінімуму вплив на людину небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Забезпечити здорові умови праці під час виконання різних сільськогосподарських робіт дозволяє комплекс заходів правового, організаційного, технічного та санітарно-гігієнічного характеру, які об'єднуються поняттям охорони праці [20].

4.1 Аналіз безпеки використання трактора тягового класу 14 кН з модернізованим тягово-зчіпним пристроєм

Під час експлуатації, ремонту та технічного обслуговування трактора МТЗ-80 з модернізованим тягово-зчіпним пристроєм в умовах обслуговування тваринницьких ферм у агрегаті з кормороздавачем КТУ-10 виникають небезпечні та шкідливі виробничі фактори, наведені в таблиці 1 [21].

Виробничий процес транспортування та роздавання кормів, у якому використовується трактор МТЗ-80 з модернізованим тягово-зчіпним

пристроєм, включає приєднання кормороздавача до трактора, завантаження корму в кормороздавач, транспортування його до місця годівлі тварин та роздавання корму. Механізатор здійснює керування трактором у процесі доставки та роздавання кормів, а також виконує ремонт і технічне обслуговування трактора та кормороздавача. Під час роботи механізатор контактує з обладнанням і механізмами, дихає повітрям робочої зони, тим самим зазнаючи впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів (НШВФ). Під час приєднання кормороздавача небезпеку становлять рухомі машини та механізми. У процесі виконання транспортних робіт найбільш небезпечними є емоційні перевантаження та підвищений рівень шуму. Під час виконання ремонту та технічного обслуговування найбільш небезпечними є фізичні перевантаження та незахищені рухомі механізми..

Таблиця 1 - Небезпечні та шкідливі виробничі фактори під час роботи на тракторі МТЗ-80 з модернізованим тягово-зчіпним пристроєм

Найменування операції	Небезпечні та шкідливі виробничі фактори	Можливі причини травматизму
1. Приєднання кормороздавача до трактора	- рухомі машини та механізми	- не виконання вимог техніки безпеки; - Експлуатація несправного трактора.
2. Управління трактором при перевезенні та роздачі кормів	- емоційні перевантаження; - рухомі машини та механізми; - Недостатня міцність конструкції; - Підвищений рівень шуму	- не виконання вимог техніки безпеки; - Експлуатація несправного трактора.
3. Ремонт та технічне обслуговування трактора	- фізичні навантаження; - Незахищені рухливі механізми; - Недостатня міцність конструкції; - корозія металів	- Порушення трудової та виробничої дисципліни; - Незадовільна організація робіт.

Із таблиці 1 видно, що під час виконання всіх видів робіт основними можливими причинами травматизму є порушення трудової та виробничої дисципліни, незадовільна організація робіт і експлуатація несправного трактора. Для запобігання випадкам травматизму під час експлуатації трактора МТЗ-80 з модернізованим тягово-зчіпним пристроєм необхідно дотримуватися таких умов: виконання вимог трудової та виробничої дисципліни, дотримання правил техніки безпеки під час роботи, а також експлуатація справного трактора.

4.2 Вимоги безпеки під час експлуатації та технічного обслуговування трактора тягового класу 14 кН з модернізованим тягово-зчіпним пристроєм

4.2.1 Вимоги техніки безпеки

- до роботи на тракторі допускаються особи не молодші 18 років, які мають посвідчення тракториста-машиніста;
- перед початком роботи на тракторі необхідно провести інструктаж механізатора на робочому місці;
- машинно-тракторний агрегат повинен бути укомплектований справним інструментом, чистиками тощо;
- очищення вузлів і механізмів трактора та кормороздавача необхідно виконувати металевими чистиками для запобігання порізам рук гострими частинами;
- технічне обслуговування, ремонт та усунення забивань у кормороздавачі необхідно проводити лише при вимкнених робочих органах і зупиненому двигуні трактора;
- забороняється перевозити людей на кормороздавачі;
- не допускається експлуатація трактора при ширині колії понад 1800 мм;
- не допускається різке вмикання зчеплення, оскільки це може призвести до перекидання трактора та нещасних випадків;

- необхідно підтримувати тиск у шинах трактора відповідно до заводських рекомендацій;
- швидкість руху трактора на поворотах не повинна перевищувати 5 км/год, а на слизьких дорогах – 2...3 км/год;
- під час доливання води в радіатор гарячого двигуна кришку необхідно відкручувати, нахилиючи її вбік, щоб пара не обпекла обличчя;
- забороняється залишати трактор без керування під час руху;
- під час приєднання кормороздавача до трактора необхідно встановити важіль перемикання коробки передач у нейтральне положення, а ногу тримати на педалі гальма;
- кормороздавач повинен бути додатково з'єднаний із трактором запобіжним ланцюгом (тросом);
- отвори в причіпній сережці трактора та причіпному пристрої кормороздавача не повинні мати овальної форми, а шворень повинен бути зашплінтований;
- забороняється використовувати випадкові підставки під час ремонту, технічного обслуговування та приєднання кормороздавача до трактора.

4.2.2 Вимоги виробничої санітарії

- умови праці на робочому місці механізатора визначаються відповідно до вимог виробничої санітарії:
- у робочій зоні механізатора (кабіні трактора) температура повітря не повинна перевищувати 28 °С при відносній вологості 40–60 %, а в холодний період року бути не нижчою за 14 °С;
- надлишковий тиск повітря в кабіні трактора, створюваний припливним вентилятором, повинен бути не менше 58,9 Па;
- гранично допустима запиленість повітря робочої зони – від 2 до 4 мг/м³;
- допустимий рівень шуму на робочому місці механізатора не повинен перевищувати 90 дБ;

- світлові прилади трактора повинні забезпечувати освітленість робочих органів кормороздавача не менше 20 лк;
- допустимі величини вібрації робочого місця механізатора визначаються: амплітуда коливань – 0,007–0,009 мм, швидкість коливальних рухів – 0,16–0,033 см/с.

4.2.3 Вимоги електробезпеки

Висуваються такі вимоги:

- необхідно запобігати можливості іскроутворення та витoku струму в проводах і клеммах електрообладнання, особливо в місцях, де можливе потрапляння на них масла або палива;
- електропроводка трактора повинна бути захищена від механічних пошкоджень, дії високих температур, потрапляння масла та палива;
- забороняється перебувати поблизу трактора під час грози;
- забороняється експлуатація трактора в агрегаті з кормороздавачем під лініями електропередач (ЛЕП), якщо відстань від найвищої точки машини до проводів становить менше 2 м при напрузі лінії електропередач 1–20 кВ та менше 3–4 м при напрузі 35–110 кВ;
- у разі дотику агрегату до проводу лінії електропередач механізатор, не залишаючи робочого місця, повинен негайно зупинити трактор, сигналом привернути увагу людей, які мають повідомити про подію підприємству електричних мереж. До прибуття аварійної бригади забороняється вживати будь-яких самостійних дій.

4.2.4 Вимоги протипожежної безпеки

Висуваються такі вимоги протипожежної безпеки:

- не допускається витік палива та масла з вузлів і агрегатів трактора;
- заправлення трактора паливом необхідно здійснювати лише закритим способом на заправному пункті;

- забороняється мати на тракторі додаткові ємності з паливно-мастильними матеріалами;
- під час заправлення трактора паливом забороняється користуватися відкритим вогнем;
- промаслене ганчір'я та інший обтиральний матеріал необхідно збирати і зберігати в металевих ящиках із кришками;
- забороняється експлуатація трактора у пожежонебезпечних місцях при знятому щитку колектора та інших захисних пристроях нагрітих частин двигуна;
- під час тривалої стоянки масу необхідно вимикати;
- у разі пожежі трактор необхідно зупинити, заглушити двигун, а осередок займання гасити вогнегасниками або підручними засобами — піском, землею, брезентом, кошмою чи мішковиною; необхідно вжити заходів для недопущення поширення вогню на паливний бак трактора;
- трактор повинен бути обладнаний засобами пожежогасіння: вогнегасником, лопатою, кошмою розміром 2×2 м та брезентом.

4.2.5 Вимоги ергономіки

Повинні виконуватися такі вимоги [24]:

- форма та розміри органів керування трактора повинні забезпечувати надійне захоплення руками та запобігати зісковзуванню;
- зусилля переміщення органів керування не повинні викликати фізичних перевантажень механізатора;
- основні органи керування трактором слід розташовувати спереду та праворуч від механізатора, при цьому максимальні розміри зони досяжності правою рукою становлять 70–110 см, а глибина робочої панелі не повинна перевищувати 80 см;
- робоче місце механізатора повинно забезпечувати свободу рухів і переміщень, добрий огляд органів керування, а також відповідати антропометричним, фізіологічним і психологічним характеристикам людини;

- робоче сидіння механізатора повинно відповідати ергономічним вимогам згідно з СТБ ISO 4254-1-2011;
- рівень звукового тиску сигналу повинен бути вищим за рівень шуму виробничого процесу не менше ніж на 10–16 дБ;
- необхідно забезпечувати чергування режимів праці та відпочинку;
- травмонебезпечні вузли та деталі агрегату необхідно виділяти спеціальними кольорами (жовтий із чорними смугами, червоний тощо).

4.3 Вимоги безпеки під час роботи на тракторі з модернізованим тягово-зчіпним пристроєм

У процесі експлуатації трактора з модернізованим тягово-зчіпним пристроєм передбачається піднімання задньої навіски трактора з установленою на ній рамкою, що забезпечує розвантаження переднього моста кормороздавача та довантаження задніх коліс трактора. При цьому можуть виникати такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори: рухомі та обертові механізми, підвищені навантаження на механізми й вузли.

Небезпечним елементом конструкції тягово-зчіпного пристрою є рамка, приєднана до важелів задньої навіски трактора та така, що переміщується залежно від необхідності довантаження задніх коліс трактора. Основним засобом захисту від впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів є дотримання вимог техніки безпеки під час експлуатації трактора з модернізованим тягово-зчіпним пристроєм у агрегаті з кормороздавачем.

Вимоги техніки безпеки під час роботи трактора з модернізованим тягово-зчіпним пристроєм:

- забороняється здійснювати довантаження задніх коліс трактора навіскою під час роботи у нормальних умовах та при незначному буксуванні ведучих коліс;
- не допускається виконувати ремонт і технічне обслуговування тягово-зчіпного пристрою при працюючому двигуні трактора;

- для монтажу та технічного обслуговування тягово-зчіпного пристрою трактора необхідно використовувати спеціально призначений інструмент;
- під час зупинки машинно-тракторного агрегату необхідно знімати навантаження з дишла кормороздавача від рамки пристрою шляхом опускання задньої навіски трактора;
- для запобігання пошкодженням і травмам під час технічного обслуговування та ремонту тягово-зчіпного пристрою необхідно користуватися засобами індивідуального захисту;
- не допускається експлуатація трактора з модернізованим тягово-зчіпним пристроєм за наявності технічних несправностей;
- забороняється перевозити на навісці трактора будь-які вантажі.

4.4 Охорона навколишнього середовища

Сільське господарство – це сфера людської діяльності, найбільш тісно пов'язана з природою. Тут використовуються найрізноманітніші природні ресурси: ґрунт, рослинність, вода, тваринний світ, повітря. Тому неправильне, нераціональне господарювання може завдати шкоди як природі, так і самому сільськогосподарському виробництву.

Одним із головних природних багатств є ґрунт, від стану та збереження якого залежить урожайність сільськогосподарських культур [25]. У результаті неправильного використання ґрунт втрачає свою родючість. Основної шкоди ґрунту завдає ерозія, тобто руйнування верхнього родючого шару водою або вітром. На ґрунтах, схильних до ерозії, урожайність сільськогосподарських культур знижується у 2–3 рази, погіршується якість продукції.

Обробіток ріллі вздовж схилів, порушення сівозмін, одноманітне використання ґрунтів, щорічний обробіток на одну й ту саму глибину, надмірний випас худоби – одні з основних причин виникнення ерозійних процесів. Для їх запобігання необхідно в кожному господарстві планувати використання ґрунтів з урахуванням їх особливостей. Для боротьби з ерозією застосовують комплексні заходи: ґрунтозахисні сівозміни, безвідвальний

обробіток ґрунту, залуження й заліснення еродованих ґрунтів, обробіток ґрунту впоперек схилу, культивацію парів із залишенням стерні, вирівнювання поля, внесення добрив, використання клейких речовин для утримання частинок ґрунту [25].

Однак ґрунти зазнають негативного впливу не лише від ерозії. Так, трактори та сільськогосподарські машини, сконструйовані без урахування особливостей ґрунтів, можуть значно ущільнювати ґрунт, що порушує його структуру. Для запобігання цьому застосовують трактори з широкими шинами та здвоєними колесами. Крім того, структуру ґрунту руйнує надмірний обробіток, тому великого значення набуває мінімальний обробіток ґрунту.

Окрім ґрунтових ресурсів, важливе значення має вода, надлишок або нестача якої значною мірою визначає родючість ґрунтів та врожайність культур. На зрошуваних землях надмірний полив призводить до заболочування та невиправданих втрат води через зайве випаровування. Зрошення пустельних і напівпустельних земель без улаштування дренажу спричиняє засолення ґрунтів. Води, забруднені побутовими стоками, потрапляючи на поля без очищення, знижують у ґрунті вміст кисню, внаслідок чого сповільнюються біологічні процеси, що в ньому відбуваються.

Джерелом забруднення підземних вод і водойм може бути також сільськогосподарське виробництво. Стічні води з ферм і пасовищ, що містять різні шкідливі біологічні речовини, інколи потрапляють у прилеглі водойми, а також проникають у підземні води. Такі води стають непридатними для потреб людини та промисловості, а водойми швидко заростають водною рослинністю. Для збору стічних вод з ферм необхідно будувати спеціальні відстійники; рідкі відходи сільськогосподарського виробництва повинні надходити на поля зрошення лише після ретельного очищення.

Продуктивність різних галузей сільського господарства залежить також від чистоти атмосферного повітря. Вміст у ньому пилу, сірчистого газу та інших домішок призводить до зниження врожайності рослин і продуктивності тварин. Неправильне застосування та зберігання пестицидів і добрив може

стати джерелом забруднення та отруєння навколишнього середовища. Потрапляючи з опадами у водойми, вони завдають шкоди водній фауні, а потрапляючи в повітря, стають причиною захворювань тварин і людей [26].

Дослідження показали, що рослини здатні засвоювати добрива лише до певної межі, після чого відбувається накопичення в їх організмі хімічних речовин, зокрема азотних сполук. Такі «перегодовані» рослини викликають різні розлади в організмі тварин і людини, а інколи – отруєння.

Під час експлуатації тракторів основними факторами, що негативно впливають на екологію, є: розпилення ґрунту рушіями трактора, акустичний та вібраційний вплив трактора на навколишнє середовище, а також викиди шкідливих речовин з вихлопними газами в атмосферу.

Застосування трактора з модернізованим тягово-зчіпним пристроєм на транспортних роботах дає змогу збільшувати зчіпну вагу трактора під час руху в складних дорожніх умовах, що знижує буксування ведучих коліс і, відповідно, зменшує розпилення ґрунту рушіями. Також зменшується кількість шкідливих викидів в атмосферу завдяки підвищенню продуктивності транспортного агрегату та зменшенню необхідної кількості транспортних агрегатів.

Для зменшення кількості викидів вихлопних газів в атмосферу необхідно регулярно проводити ремонт або технічне обслуговування двигуна трактора. Зовнішніми ознаками погіршення показників екологічної безпеки тракторів є: чорний дим при повному навантаженні дизеля; білий, блакитний або синій дим; великі частинки сажі.

Розглянемо заходи, яких необхідно дотримуватися під час експлуатації парку тракторів з метою збереження задовільного екологічного стану:

Миття та очищення тракторів і сільськогосподарських машин повинно проводитися у спеціально відведених місцях, обладнаних водовідстійниками та грязезбірниками.

Використання справних тракторів значно знижує забруднення атмосферного повітря.

Необхідно покращувати стан лісів та зелених насаджень.

Заправлення тракторів необхідно проводити на спеціально відведених майданчиках.

Під час експлуатації трактора з модернізованим тягово-зчіпним пристроєм повинні виконуватися такі основні екологічні вимоги:

- конструкція гідросистеми, системи охолодження та паливної системи трактора не повинна допускати витоку масла, палива й охолоджувальної рідини;

- випускна система трактора повинна виключати прорив газів та іскор із глушника;

- конструкція паливного бака трактора повинна унеможливлювати потрапляння палива на вузли й агрегати трактора;

- димність відпрацьованих газів двигуна трактора не повинна перевищувати норми.

Конструкція модернізованого тягово-зчіпного пристрою трактора тягового класу 14 кН є екологічно безпечною, оскільки не містить вузлів і механізмів, що потребують використання нафтопродуктів або здійснюють викиди шкідливих газів в атмосферу.

5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЕКТУ

Розрахуємо ефективність використання трактора тягового класу 14 кН МТЗ-80 з модернізованим тягово-зчіпним пристроєм у порівнянні з базовим варіантом трактора (без додаткового навантаження задніх коліс) при агрегуванні з КТУ-10. Для розрахунку економічної ефективності визначаємо конструктивну вартість модернізованого тягово-зчіпного пристрою за формулою:

$$C_k = C_m + C_{дет} + C_{пок.изд.} + C_{сб} , \quad (34)$$

де C_m - вартість матеріалів для виготовлення конструкції, грн;

$C_{дет}$ - вартість виготовлення деталей, грн;

$C_{пок.изд.}$ - вартість покупних виробів, грн;

$C_{сб}$ – вартість збирання конструкції, грн.

Вартість матеріалу конструкції знаходимо за формулою:

$$C_m = m \cdot C_{lm} , \quad (35)$$

де m – маса матеріалу, кг; лист 3; 5; 10; 16 мм - 85 кг; труба квадратна 80x80x5 мм – 15 м; коло 10; 40; 50 мм – 5 м;

C_{lm} – вартість одного кілограма матеріалу, грн; лист 1 кг – 170 грн; коло 1 м - 560 грн; труба 1 м – 500 грн [28].

За формулою (35) розраховуємо

$$C_m = 85 \cdot 170 + 15 \cdot 500 + 5 \cdot 560 = 24750 \text{ грн.}$$

Визначаємо вартість виготовлення деталей за формулою:

$$C_{вир} = t_d \cdot C_{год.сл} , \quad (36)$$

де t_d – час виготовлення деталей, год; приймаємо $t_d = 24,0$ год;

$C_{год.сл}$ – годинна тарифна ставка слюсаря, грн; $C_{год.сл} = 400$ грн [29].

За формулою (36) знаходимо $C_{из} = 24,0 \cdot 400 = 9600$ грн.

Вартість покупних виробів включає вартість кріплення (болтів, гайок, шайб) $C_{пок.вир.} = 2500$ грн.

Розраховуємо вартість збирання конструкції тягово-зчіпного пристрою за формулою:

$$C_{сб} = t_{сб} \cdot C_{ч.сб}, \quad (37)$$

де $t_{сб}$ - час на складання конструкції, год; $t_{сб} = 10,0$ год;

$C_{ч.сб}$ - годинна тарифна ставка зварювальника, грн; $C_{ч.сб} = 400$ грн [29].

Звідси $C_{сб} = 10,0 \cdot 400 = 4000$ грн.

Підставляємо отримані значення у формулу (37) та знаходимо вартість конструкції тягово-зчіпного пристрою:

$$C_k = 24750 + 9600 + 2500 + 4000 = 40850 \text{ грн.}$$

Додаткові капітальні вкладення на виготовлення модернізованого тягово-зчіпного пристрою для трактора тягового класу 14 кН складають $\Delta K_{кон} = C_k = 40850$ грн.

У розділі 2.4 дипломного проекту визначено годинну продуктивність кормороздавального агрегату в базовому варіанті $W_\phi = 7,5$ т/год і для агрегату з модернізованим тягово-зчіпним пристроєм $W_\phi = 8,1$ т/год.

Економічний ефект планується отримати за рахунок зниження експлуатаційних витрат на виконання заданого обсягу робіт.

Визначаємо економічну ефективність застосування трактора МТЗ-80 з модернізованим тягово-зчіпним пристроєм в агрегаті з кормороздавачем КТУ-10 при транспортуванні та роздачі корму в обсязі 800 т.

Економічні розрахунки припускають визначення експлуатаційних витрат при базовому та проектному варіанті агрегату, розраховуємо річний економічний ефект і термін окупності капітальних вкладень.

Визначаємо елементи експлуатаційних витрат за обсягу робіт $Q_p = 800$ т.

Змінну продуктивність кормороздавального агрегату розраховуємо за формулою:

$$W_{зм} = W_{год} \cdot T_{зм}, \quad (38)$$

де $W_{год}$ - годинна продуктивність, т/год;

$T_{зм}$ - тривалість зміни, рік; приймаємо $T_{зм} = 4$ год.

Агрегат у базовому варіанті $W_{зм} = 7,5 \cdot 4 = 30,0$ т/см.

Агрегат у проектному варіанті $W_{зм} = 8,1 \cdot 4 = 32,4$ т/см.

Визначаємо добову продуктивність агрегату, з урахуванням коефіцієнта змінності:

$$W_{доб} = W_{зм} \cdot K_{зм}, \quad (39)$$

де $K_{зм}$ – коефіцієнт змінності; $K_{зм}=1$.

За формулою (39) знаходимо

для базового агрегата $W_{доб.} = 30,0 \cdot 1 = 30,0$ т/добу.

для проектного агрегата $W_{доб.} = 32,4 \cdot 1 = 32,4$ т/добу.

Продуктивність одного агрегату за планований термін виконання робіт знаходимо за формулою:

$$W_{агр.} = W_{доб.} \cdot D_p, \quad (40)$$

де D_p – кількість робочих днів у періоді; приймаємо $D_p=5$.

Підставляємо значення у формулу (40) і знаходимо продуктивність агрегатів за весь період:

для базового варіанта $W_{агр.} = 30,0 \cdot 5 = 150,0$ т.

для проектного варіанту $W_{агр.} = 32,4 \cdot 5 = 162$ т.

Визначаємо кількість відпрацьованих нормозмін при заданому обсязі робіт:

$$H = \frac{Q_p}{W_{зм}}. \quad (41)$$

Підставляємо значення у формулу та отримуємо:

для трактора у базовому варіанті $H = \frac{800}{30,0} = 26,7$ нормозміни.

для трактора у проектному варіанті $H = \frac{800}{32,4} = 24,7$ нормозміни.

Визначаємо кількість агрегатів для виконання заданого обсягу робіт:

$$m = \frac{Q_p}{W_{агр.}}, \quad (42)$$

За формулою (42) знаходимо для базового варіанта

$$m = \frac{800}{150} = 5,3 \text{ агрегата.}$$

$$\text{для проектного варіанту } m = \frac{800}{162} = 4,9 \text{ агрегата.}$$

Витрата палива на одиницю виконаного обсягу робіт (на 1 т) знаходимо з виразу:

$$q_m = G_{год} \cdot K_T / W_{год} , \quad (43)$$

де $G_{год}$ – годинна витрата палива, кг; приймаємо для МТЗ-80 $G_{год}=14,5$ кг [30];

K_T – поправочний коефіцієнт, що враховує неповне завантаження двигуна при поворотах, переїздах та зупинках; $K_T = 0,9$ [10].

Підставляємо дані у формулу (43) і отримуємо:

$$\text{для базового варіанта } q_m = 14,5 \cdot 0,9 / 7,5 = 1,74 \text{ кг/т.}$$

$$\text{для проектного варіанту } q_m = 14,5 \cdot 0,9 / 8,1 = 1,61 \text{ кг/т.}$$

Комплексна ціна на пально-мастильні матеріали $\Pi_k=100$ грн. Розраховуємо вартість палива при роботі одного агрегату за весь період з урахуванням комплексної ціни:

$$C_{T1} = q_{sa} \cdot W_{арг} \cdot \Pi_k , \quad (44)$$

Підставляємо у формулу (44) відомі значення та отримуємо:

$$\text{для базового варіанта } C_{T1} = 1,74 \cdot 150 \cdot 100 = 26100 \text{ грн.}$$

Сумарна вартість палива по всіх агрегатах:

$$C_m = 26100 \cdot 6 = 156600 \text{ грн.}$$

$$\text{для проектного варіанту } C_{T1} = 1,61 \cdot 162 \cdot 100 = 26908 \text{ грн.}$$

Сумарна вартість палива по всіх агрегатах:

$$C_m = 26908 \cdot 5 = 134541 \text{ грн.}$$

Розраховуємо питомі витрати за формулою:

$$z_{TV} = (m_1 + m_2) / W_{год} , \quad (45)$$

де m_1 и m_2 – число механізаторів та допоміжних робітників на один агрегат;
 $m_1=1, m_2=0$.

За формулою (45) знаходимо для базового варіанта

$$Z_{TY} = (1+0)/7,5 = 0,13 \text{ люд.год./т.}$$

для проектного варіанту $Z_{TY} = (1+0)/8,1 = 0,12 \text{ люд.год. /т.}$

Загальні витрати праці визначаємо за формулою:

$$Z_T = Z_{TY} \cdot Q_p . \quad (46)$$

За формулою (46) для базового варіанта отримуємо

$$Z_T = 0,13 \cdot 800 = 104 \text{ люд.год.}$$

для проектного варіанту $Z_T = 0,12 \cdot 800 = 96 \text{ люд.год}$

Розраховуємо витрати на заробітну плату за формулою:

$$C_{zn} = Z_T \cdot \chi_T , \quad (47)$$

де χ_T – годинна тарифна ставка, грн; приймаємо $\chi_T=400$ грн.

Получаем, для базового варіанта $C_{zn} = 104 \cdot 400 = 41600$ грн.

для проектного варіанту $C_{zn} = 96 \cdot 400 = 38400$ грн.

Витрати на реновацію визначаємо з урахуванням балансової вартості машин:

$$C_p = (C_{\delta} \cdot K_{zm} \cdot T_{zm} \cdot D_p) / (T_{cl} \cdot W_{год}) , \quad (48)$$

де C_{δ} – ціна придбання техніки, грн; трактори МТЗ-80 $C_{\delta}=2700,0$ тис. грн;
трактори з модернізованим тягово-зчіпним пристроєм $C_{\delta} = 2700,0+40,85=2740,85$ тис. грн (з урахуванням вартості модернізації $C_k = 40850$ грн); дозатор корму КТУ-10 – 1450,0 тис. грн [31].

T_{cl} – нормативний термін служби машин, років; трактора – 10 років;
кормороздавача - 8 років;

$W_{год}$ – нормативне річне завантаження машин, год; трактора – 1350 год;
кормороздавача - 200 год [32].

Підставляємо відомі значення у формулу (48) і отримуємо за базовим варіантом:

$$C_p = ((2700000 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 5) / (10 \cdot 1350)) + ((1500000 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 5) / (8 \cdot 200)) = 22750 \text{ грн.}$$

Примножуємо отримане значення число агрегатів $m=6$ визначаємо загальні витрати на реновацію $C_p = 136500$ грн.

Витрати на реновацію за проектним варіантом:

$$C_p = ((2740850 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 5) / (10 \cdot 1350)) + ((1500000 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 5) / (8 \cdot 200)) = 22811 \text{ грн.}$$

Примножуємо отримане значення число агрегатів $m=5$ визначаємо загальні витрати на реновацію $C_p = 114055$ грн.

Витрати на ремонт та технічне обслуговування (ТОР) визначаємо за формулою:

$$C_{TOP} = 0,01 \cdot C_b \cdot a_{TOP} \cdot \delta \cdot n, \quad (49)$$

де a_{TOP} – норма відрахувань на ТОР, %; для трактора $a_{TOP} = 10\%$, для кормороздавача $a_{TOP} = 12,5\%$ [32].

δ – частка виконаних робіт у річному завантаженні; трактора $\delta = 0,014$, кормороздавача $\delta = 0,1$;

n – кількість агрегатів, шт.

Підставляємо значення у формулу (49) та визначаємо показник для базового варіанта:

$$C_{TOP} = (0,01 \cdot 2700000 \cdot 10 \cdot 0,014 \cdot 6) + (0,01 \cdot 1500000 \cdot 12,5 \cdot 0,1 \cdot 6) = 135180 \text{ грн.}$$

Розраховуємо витрати на ТОР для проектного варіанта:

$$C_{TOP} = (0,01 \cdot 2740850 \cdot 10 \cdot 0,014 \cdot 5) + (0,01 \cdot 1500000 \cdot 12,5 \cdot 0,1 \cdot 5) = 112936 \text{ грн.}$$

Сумарні експлуатаційні витрати за двома варіантами визначаємо за формулою:

$$C = C_{TOP} + C_p + C_m + C_{zn} + C_n, \quad (50)$$

де C_n - інші витрати, грн.

Сумарні експлуатаційні витрати за базовим варіантом:

$$C_I = 135180 + 136500 + 41600 + 156600 + 0 = 469880 \text{ грн.}$$

Сумарні експлуатаційні витрати за проектним варіантом:

$$C_{II} = 112936 + 114055 + 38400 + 134541 + 0 = 399932 \text{ грн.}$$

Визначаємо прибуток як різницю у витратах:

$$\Delta C = C_I - C_{II} = 469880 - 399932 = 69948 \text{ грн.}$$

Таким чином, величина прибутку, отриманого внаслідок економії витрат у проєктному варіанті, становить $\Pi = 69948$ грн.

Розраховуємо річний економічний ефект за формулою:

$$E_e = \Pi + D_e, \quad (51)$$

де Π – прибуток, грн;

D_e - додатковий економічний ефект, грн.

Підставляємо значення формулу (51) і отримуємо:

$$E_e = 69948 + 0 = 69948 \text{ грн.}$$

Капітальні вкладення за проєктним варіантом визначається за формулою:

$$K = \Delta K_{\text{кон}} \cdot m. \quad (52)$$

Розрахунок за формулою (52) для проєктного варіанта дає таке значення $K_2 = 40850 \cdot 5 = 204250$ грн.

Капітальні вкладення за базовим варіантом $K_1 = 0$.

Додаткові капітальні вкладення ΔK визначаються за формулою:

$$\Delta K = K_2 - K_1. \quad (53)$$

За формулою (53) отримуємо $\Delta K = 204250 - 0 = 204250$ грн.

Розраховуємо термін окупності додаткових капітальних вкладень за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \Delta K / E_e. \quad (54)$$

Підставляємо значення у формулу (54) і отримуємо термін окупності за проєктним варіантом $T_{\text{ок}} = 204250 / 69948 = 2,9$ року.

Визначаємо коефіцієнт ефективності додаткових капітальних вкладень за формулою:

$$E_n = E_e / \Delta K. \quad (55)$$

За формулою (55) отримуємо $E_n = 69948 / 204250 = 0,34$.

У таблиці 2 наведено результати розрахунку економічних показників трактора тягового класу 14 кН з модернізованим тягово-зчіпним пристроєм.

Таблиця 2 Результати розрахунку економічної ефективності проекту

Показники	Використання трактора	
	базового	проектного
Капітальні вкладення, тис. грн	-	204,2
Експлуатаційні витрати, тис. грн	469,9	399,9
Річний економічний ефект, тис. грн	-	69,9
Коефіцієнт економічної ефективності	-	0,34
Термін окупності, років	-	2,9

З таблиці 2 видно, що прямі експлуатаційні витрати при використанні трактора з модернізованим тягово-зчіпним пристроєм знижуються на 14,9% у порівнянні з базовим варіантом, термін окупності розробки становить 2,9 року.

ВИСНОВКИ

Проведено аналіз процесів механізації у тваринництві та встановлено, що трактори тягового класу 14 кН є найбільш поширеними енергетичними засобами при механізації процесів на тваринницьких фермах.

Збільшення зчіпної ваги трактора під час агрегування з кормороздавачами може бути реалізоване з використанням штатної гідросистеми трактора шляхом впливу на піднімання передньої осі причепа через подовжувачі нижніх тяг навіски та дишло причепа. При цьому збільшується рушійна сила на ведучих колесах, що сприяє зростанню тягового зусилля трактора.

На основі аналізу різних типів тягово-зчіпних пристроїв встановлено, що їх конструкції без застосування додаткових пристроїв не забезпечують підвищення тягово-зчіпних властивостей трактора під час агрегування з кормороздавачами та причепами.

Розрахунок тягово-зчіпних показників колісного трактора тягового класу 14 кН показав, що зі збільшенням довантаження ведучих коліс трактора Q_{zt} на 2,24 кН запас тягового зусилля на гаку P_z збільшується на 56 %.

При використанні трактора МТЗ-80 з довантаженням задньої осі в агрегаті з кормороздавачем КТУ-10 забезпечується підвищення продуктивності на 7,4 %, зниження питомих витрат праці на 7,7 % та витрати палива на 8 %.

Запропонований у конструктивній розробці тягово-зчіпний пристрій забезпечує можливість перерозподілу навантажень на осях тракторно-транспортного агрегату залежно від дорожніх умов, а його застосування підвищує тягове зусилля трактора до 10 % та знижує витрату палива до 15 %.

Прямі експлуатаційні витрати при використанні трактора з модернізованим тягово-зчіпним пристроєм знижуються на 14,9 % порівняно з базовим варіантом, а термін окупності розробки становить 2,9 року.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Проектування систем автоматизації для АПК: підручник / В. П. Лисенко [та ін.]. - К.: ФОП Ямчинський О.В., 2022. - 626 с. - ISBN 978-617-8184-97-1.
2. Механізація технологічних процесів у тваринництві. Навчальний посібник / О.Г. Скляр, Н.І.Болтянська. 2012. 720 с.
3. Проектування механізованих технологічних процесів тваринницьких підприємств/ (І.І.Ревенко, В.М.Роговий, В.І.Кравчук та ін.); за ред. І.І.Ревенка. -К.: Урожай, 1999. – 192с.
4. Сільськогосподарські машини: навч. посіб. / Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В., Волянський М.С., Мартишко В.М., Гуменюк Ю.О. – Київ: «Агроосвіта», 2017. – 180 с.
5. Belarus MTZ Tractors: Operation and Maintenance Manual. Minsk: Minsk Tractor Works, 2022.
6. Reece, A. R. Principles of Tractor Mechanics. London: Springer, 2019. 410 p.
7. Grisso R., Pitman R. Tractor Management for the Farm and Ranch. St. Joseph: ASABE, 2020. 328 p.
8. National Research Council. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 8th ed. Washington: National Academies Press, 2021. 405 p.
9. ASABE Standards. Agricultural Machinery Management Data. St. Joseph: ASABE Standards Collection, 2023.
10. Ільченко В.Ю., Карасьов П.І., Лімонт А.С. Довідник з експлуатації машинно-тракторного парку. Київ : Урожай, 1987. 368 с
11. Off-Road Vehicle Engineering Principles. Cham: Springer, 2021.
12. Wong, J. Y. Theory of Ground Vehicles. 5th ed. Hoboken: Wiley Online Library, 2022. 728 p.
13. Gillespie, T. D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. Warrendale: SAE International, 2021. 512 p.

14. Budynas R.G., Nisbett J.K. Shigley's Mechanical Engineering Design. 11th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2020. 1100 p.
15. Gere J.M., Goodno B.J. Mechanics of Materials. 9th ed. Boston: Cengage Learning, 2018. 912 p.
16. Mott R.L., Vavrek E.M., Wang J. Machine Elements in Mechanical Design. 6th ed. New York: Pearson Education, 2021. 912 p.
17. Childs P.R.N. Mechanical Design Engineering Handbook. 3rd ed. Oxford: Elsevier, 2021. 928 p.
18. Пастухов В.І. Довідник з машиновикористання в землеробстві. Харків: Веста, 2001. 344 с.
19. Norton R.L. Machine Design: An Integrated Approach. 6th ed. New York: Pearson Education, 2020. 1080 p.
20. Гогіташвілі Г.Г., Лапін В.М. Основи охорони праці: Навч. посіб. 4-те вид., випр. і доп. Київ. Знання. 2008. С. 322.
21. Івах Р.М., Бедрій Я. І, Білінська Б.О, Козяр М.М.. Основи охорони праці. Навчальний посібник. 4- те вид, перероблене і доповнене Київ. Кондор. 2010. С. 463
22. ДСТУ 4691:2006. Трактори сільськогосподарські. Технічне обслуговування. Київ: ДП УкрНДНЦ.
23. ДСТУ ISO 4254-1:2018. Машини сільськогосподарські. Вимоги безпеки. Київ: ДП УкрНДНЦ.
24. ДСТУ ISO 5349-1:2005. Вібрація. Вимірювання локальної вібрації та оцінка її впливу на людину. Київ: ДП УкрНДНЦ.
25. Булигін С. Ю., Вітвіцький С. В. Охорона ґрунтів: навчальний посібник. Київ: Аграрна наука. 2018. 364 с.
26. Кучерявий В.П. Екологія. Львів: Світ, 2001. 480 с.
27. ДСТУ 4277:2004. Охорона природи. Атмосфера. Норми викидів шкідливих речовин. Київ: ДП УкрНДНЦ.
28. Metinvest-SMC Metal Products Catalog.

29. Agrotechnika Ukraine Equipment Pricing.
30. Upadhyaya S.K., Chancellor W.J., Perumpral J.V. Advances in Agricultural Machinery and Technologies. St. Joseph: ASABE, 2021.
31. John Deere Official Agricultural Equipment Catalog.
32. Kepner R.A., Bainer R., Barger E.L. Principles of Farm Machinery. 4th ed. Westport: AVI Publishing Company Archive, 2019.

ДОДАТКИ