

Краснокутський В. М.

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна***ЗАСТОСУВАННЯ ПЕРЕДНЬОЇ НАВІСНОЇ СИСТЕМИ НА ТРАКТОРНОМУ САМОХІДНОМУ ШАСІ ЯК ЕЛЕМЕНТУ ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО УНІВЕРСАЛЬНОСТІ І ЕФЕКТИВНОСТІ**

Сучасний розвиток сільського господарства та комунальної інфраструктури вимагає застосування ефективної, економічно доцільної та екологічно безпечної техніки. Одним із найперспективніших напрямів у механізації малих господарств та міських служб є використання універсальних тракторних самохідних шасі, які поєднують маневреність, простоту експлуатації та мінімальні експлуатаційні витрати. У зв'язку зі зростанням вартості палива та підвищенням вартості великих енергонасичених колісних тракторів та експлуатаційних витрат на їх утримання. Тракторні самохідні шасі стають конкурентоздатною альтернативою традиційним тракторам.

Тракторні самохідні шасі, що належать до тягового класу 0,6 (6 кН), мають компактні габарити, достатню потужність та універсальність у використанні. Це робить їх ефективним для виконання широкого спектра робіт у фермерських господарствах малого масштабу, приватних садибах, тепличних комплексах, а також у комунальних підприємствах – для прибирання територій, догляду за зеленими зонами, транспортування невеликих вантажів та виконання сезонних робіт. Проте базове оснащення тракторного самохідного шасі обмежує його потенційну функціональність, що створює потребу у розширенні набору змінного робочого обладнання.

Одним із ключових елементів, що суттєво підвищує універсальність і ефективність тракторного самохідного шасі, є передня навіска. Її наявність дозволяє агрегувати широкий спектр обладнання: від щіток і відвалів для прибирання вулиць до фрез, косарок і підйомних пристроїв для сільськогосподарських потреб. Сучасні вимоги до навісних систем передбачають підвищену надійність, можливість швидкої зміни обладнання, сумісність із силовими характеристиками тракторного самохідного шасі та забезпечення безпечних умов роботи оператора.

Ключові слова: тракторне самохідне шасі; передня навіска; тяговий розрахунок; навісна система; конструкція; проектування.

ВСТУП

Актуальність теми статті полягає у необхідності створення ефективної та універсальної передньої навісної системи, яка відповідатиме технічним можливостям тракторного самохідного шасі (ТСШ) та розширюватиме його функціональність у реальних умовах експлуатації малих фермерських та міських господарств. Впровадження такої конструкції сприятиме підвищенню продуктивності праці, зниженню витрат на обслуговування техніки, а також розвитку екологічно чистих технологій в аграрному та комунальному секторах України.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Науковими аспектами розвитку ТСШ займалися М. А. Подригало, О. Г. Закопко, А. С. Полянський, М. П. Артьомов та інші.

Метою статті є розробка передньої навіски для ТСШ тягового класу 0,6 (≈ 6 кН). Проведено моніторинг існуючих навісних систем та аналіз їх конструктивних особливостей. Описано конструктивні особливості ТСШ та визначено вимоги до передньої навіски. Виконано розрахунок основних елементів передньої навісної системи. Розроблено конструкцію передньої навіски та виконано необхідні розрахунки міцності й працездатності. Підготовано робочі креслення.

Призначення та сфери застосування передньої навіски

Використання передньої навіски підвищує продуктивність ТСШ, універсальність його застосування та дозволяє оптимізувати робочі процеси без залучення додаткової техніки.

Малі габарити та маневреність дають можливість застосовувати ТСШ усередині теплиць, складів, фермерських приміщень та у міських парках. У комунальних службах ТСШ із передньою трьохточковою навіскою може стати основним міні машинно-тракторним агрегатом (МТА) для прибирання прибудинкових територій, вузьких вулиць, велосипедних доріжок, дитячих майданчиків та внутрішніх дворів, де більша техніка працювати не може [1].

Аналіз існуючих конструкцій передніх навісок для малогабаритних тракторів та ТСШ

Навісні системи тракторів є важливим елементом механізації сільськогосподарських, комунальних та спеціальних робіт, оскільки забезпечують агрегування змінного робочого обладнання з базовою машиною. Конструкція навіски визначає функціональні можливості ТСШ,

його універсальність, ефективність виконання технологічних операцій та рівень адаптивності до різних умов експлуатації [1, 2]. Для правильного вибору та проектування передньої навіски ТСШ необхідно розглянути існуючу класифікацію навісних систем.

Передні навісні системи відіграють важливу роль у підвищенні універсальності та ефективності тракторів малого класу та ТСШ, особливо при виконанні сільськогосподарських, комунальних та допоміжних робіт. Правильний вибір типу та конструкції навіски визначає можливості агрегування різного обладнання, маневреність ТСШ та безпечність його експлуатації.

Сучасні конструкції передніх навісок для малогабаритних тракторів можна класифікувати за кількома основними ознаками.

За способом керування робочими органами навіски, за механізмом підйому та фіксації робочого обладнання розрізняють [1, 3]:

- *механічні* – передача зусилля на робоче обладнання здійснюється за допомогою важелів, тяг і шарнірних механізмів. Прості, надійні та дешеві, однак не забезпечують плавного регулювання положення навішеного обладнання та високої точності позиціонування;

- *гідравлічні* – найбільш розповсюджені у сучасній техніці; забезпечують плавність, стабільність і високу точність переміщення робочих органів; дозволяють точно контролювати висоту і кут нахилу робочих органів, забезпечують плаваючий режим, що важливо при обробці нерівного ґрунту;

- *електромеханічні та електрогідравлічні* – забезпечують точне позиціонування, автоматизацію та можливість дистанційного керування, використовуються на сучасних малогабаритних тракторах та ТСШ, дозволяють дистанційно керувати положенням навісного обладнання, забезпечують автоматизацію та підвищену точність робіт.

За розташуванням навісні системи розрізняють:

- *задні* – найбільш поширені, забезпечують агрегування більшості ґрунтообробних і транспортних знарядь. Стандартом для тракторів є трьохточкова задня навіска (3-point hitch), яка забезпечує високу універсальність та можливість регулювання глибини та кута атаки знаряддя [4];

- *передні* – застосовуються для встановлення обладнання, необхідного для комунальних, транспортних або спеціальних робіт: відвалів, щіток, кранових механізмів, навантажувачів, косарок тощо;

- *бокові* – менш поширені, використовуються для специфічних завдань (косарки, підрізувачі гілок тощо);

- *міжвісьові*.

За кількістю точок під'єднання розрізняють:

- *одноточкові* (тип А) – застосовуються на малих мотоблоках та малопотужних тракторах, мають обмежену універсальність;

- *двоточкові* (тип В) – забезпечують кращу стійкість, але не відповідають сучасним універсальним стандартам;

- *трьохточкові навіски* (тип С) – найпоширеніший світовий стандарт, що забезпечує сумісність із широким спектром обладнання та зручність у роботі.

Найбільш ефективним для малих тракторів є *трьохточковий тип* (рис. 1), який дозволяє забезпечити надійне кріплення обладнання та його стабільність при роботі, одночасно забезпечуючи легкість монтажу та демонтажу.

За функціональним призначенням навісні системи поділяються на:

- *сільськогосподарські та лісні* – для обробітку ґрунту, посіву, догляду за культурами та збирання врожаю. Сільськогосподарські передні навіски призначені для роботи з фрезами, косарками, плугами, боронами та іншими ґрунтообробними або посадковими агрегатами;

- *комунальні та міські* – для прибирання територій, розчищення снігу, миття та підмітання доріг, косіння газонів. Для агрегування відвалів, щіток, піскорозкидачів, контейнерів і легких навантажувачів;

- *універсальні* – здатні до агрегування як комунального, так і сільськогосподарського обладнання, що особливо важливо для малих фермерських господарств і міських підприємств із невеликим парком техніки. Вони сумісні з обладнанням різного призначення, що особливо важливо для малого господарства та міських комунальних служб.

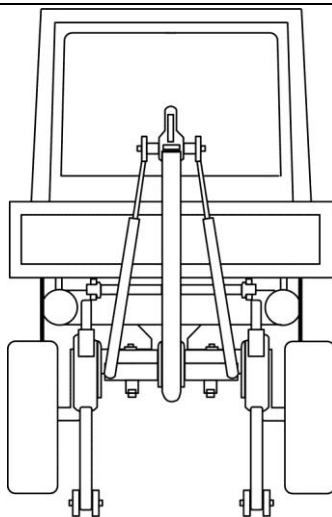


Рисунок 1 – Трьохточкова передня навіска

Основні сфери застосування передніх навісних систем: сільське, лісне, дорожно-будівельне, комунальне, господарське.

За типом підйомного механізму розрізняють: з жорстким кріпленням, коли обладнання має фіксовану висоту та положення; з плаваючим режимом, який дозволяє робочому органу копіювати рельєф поверхні; з активним керуванням положенням (гідравлічним або електрогідравлічним).

Використання передньої навіски на ТСШ дозволяє поєднувати виконання сільськогосподарських операцій із комунальними роботами, забезпечуючи універсальність та ефективність техніки.

Така навіска дозволяє перетворити ТСШ на універсальну машину: для транспортування легких вантажів, застосовуючи фронтальні міні-платформи; для садівництва і виноградарства, де потрібна маневреність; для дрібних будівельно-господарських операцій, де необхідна точність та плавність рухів; для ландшафтних та паркових робіт, де компактність є критичною перевагою.

Компактність конструкції, низькі експлуатаційні витрати та універсальність передньої навіски роблять ТСШ перспективною платформою для впровадження широкої номенклатури навісних агрегатів. Актуальність досліджень підтверджується сучасними тенденціями переходу комунального та фермерського секторів до економічно вигідної, малогабаритної та багатофункціональної техніки, де ТСШ із розробленою фронтальною навіскою має реальні передумови до практичного впровадження та подальшого промислового розвитку [1].

За конструктивним розташуванням робочих органів:

- фронтальні плоскі та важільні системи – забезпечують легкий монтаж різного обладнання, але мають обмеження по вантажопідйомності;

- рамні або жорсткі системи – забезпечують високу міцність і стійкість при роботі з більш важкими агрегатами, підходять для мультифункціонального використання.

Аналіз існуючих конструкцій показує, що для малогабаритних тракторів та ТСШ критично важливими є поєднання міцності, універсальності та маневреності. Прості механічні системи не забезпечують достатньої гнучкості, тоді як гідравлічні та електрогідравлічні системи дозволяють реалізувати широкий спектр операцій з різним обладнанням, що відповідає умовам використання в малих фермерських господарствах і міських комунальних службах.

Передня навіска ТСШ поєднує гідравлічний підйомний механізм та можливість агрегування різних агрегатів, що робить його універсальним рішенням для малого господарства та міських потреб. Вибір конструкції передньої навіски ТСШ базується на аналізі існуючих систем, що забезпечує оптимальне поєднання міцності, надійності та функціональності.

Особливої уваги заслуговує трьохточкова передня навісна система з гідравлічним керуванням, яка сьогодні вважається найбільш ефективним та універсальним рішенням для малих тракторів. На відміну від 2-точкових і рамних систем, трьохточкова конфігурація забезпечує підвищену стабільність агрегатів, надійну передачу зусилля та можливість точного позиціонування робочих органів. Гідравлічний привід дозволяє плавно регулювати висоту, кут нахилу та глибину обробки незалежно від навантаження, що значно розширює сферу застосування навісного обладнання. Саме таке конструктивне рішення демонструє найкраще співвідношення вантажопідйомності, точності

роботи, універсальності та компактності, що робить його найбільш практичним для малогабаритної техніки, включно з ТСШ. Використання трьохточкової передньої навіски на гідравлічному керуванні дозволяє розкрити потенціал ТСШ – високу тягову силу на малих швидкостях, стабільність під навантаженням та можливість працювати з широким спектром навісних інструментів (від відвалів та щіток до сільськогосподарського обладнання). Таким чином, саме ця конструктивна схема є найбільш доцільною та ефективною для агрегування обладнання на ТСШ, забезпечуючи їх максимальну продуктивність та функціональність [5].

Порівняння конструктивних схем та вибір базової концепції.

Після аналізу існуючих конструкцій передніх навісок та визначення основних сфер застосування необхідно порівняти різні конструктивні схеми і визначити оптимальну базову концепцію для розробки передньої навіски на ТСШ класу 0,6.

Основні типи конструктивних схем передніх навісок, їх порівняльна оцінка зведені до таблиці 1.

Таблиця 1 – Основні типи конструктивних схем передніх навісок

| Критерій | Механічна | Гідравлічна | Електромеханічна |
|-------------------------|-----------|-------------|------------------|
| Універсальність | Низька | Висока | Дуже висока |
| Точність позиціонування | Низька | Середня | Висока |
| Вартість | Низька | Середня | Висока |
| Надійність | Висока | Висока | Середня |
| Простота обслуговування | Висока | Середня | Низька |
| Маневреність | Середня | Висока | Висока |

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Аналіз показує, що для малогабаритних тракторів та ТСШ оптимальним є поєднання *гідравлічного підйому з можливістю електронного контролю положення навісного обладнання*. Така концепція забезпечує універсальність і можливість роботи з різним обладнанням, точне позиціонування робочих органів, комфорт і безпеку оператора, відповідність умовам малого господарства і обмеженому міському простору [6, 7].

Вибір базової концепції для ТСШ

На основі порівняльного аналізу та вимог базовою концепцією передньої навіски для ТСШ обрано *гідравлічну систему*, що забезпечує підйом та опускання агрегатів із заданою точністю, можливість плавного переміщення обладнання при роботі на нерівних поверхнях, інтеграцію з іншими системами ТСШ для комунальних та сільськогосподарських робіт, відповідність експлуатаційним вимогам малогабаритних тракторів та ТСШ. Вибір цієї концепції дозволяє поєднати надійність та універсальність.

Варто зазначити, що запропонована базова концепція трьохточкової передньої навіски є найбільш обґрунтованою не лише з позиції універсальності, а й з огляду на специфіку роботи ТСШ. Саме трьохточкова схема забезпечує оптимальний розподіл навантажень та стабільність агрегатів під час роботи у різних умовах — від м'якого ґрунту до твердих міських покриттів. Використання гідравлічного керування дозволяє реалізувати точне позиціонування та плавне регулювання робочих органів. Це забезпечує високу контрольованість обладнання навіть у ситуаціях, де звичайні дизельні трактори втрачають чутливість або мають затримки реагування.

Таким чином, класифікація навісних систем дозволяє визначити оптимальні конструктивні рішення для розробки передньої навіски ТСШ. Врахування особливостей розташування, типу приводу, призначення та підйомного механізму є ключовим для забезпечення надійності та універсальності розроблюваної конструкції.

Конструктивні особливості ТСШ (рис. 2)

Завдяки компактним габаритам, низькому центру мас та малим розміром двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) ТСШ має покращену маневреність, що дозволяє ефективно застосовувати його в умовах обмежених просторів. Ці властивості роблять ТСШ ідеальною платформою для встановлення передньої навіски, яка повинна забезпечувати точне керування та високу стабільність агрегатів.

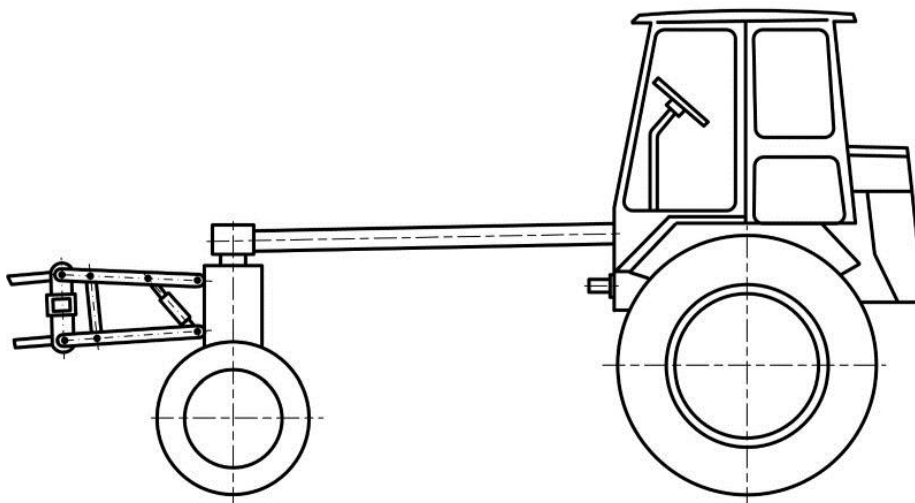


Рисунок 2 – ТСШ з передньою навіскою

Визначення вимог до конструкції передньої навіски

Враховуючи результати аналізу класифікації навісних систем, сфер застосування передньої навіски, існуючих конструкцій, а також особливості ТСШ, можна сформулювати основні вимоги до розробленої конструкції передньої навіски.

Функціональні вимоги:

- універсальність застосування – передня навіска повинна забезпечувати агрегування як комунального обладнання (щітки, відвали, снігоочисники), так і сільськогосподарських машин (косарки, фрези, легкі ґрунтообробні агрегати);

- сумісність зі стандартами – бажано орієнтуватися на трьохточкову схему кріплення з параметрами, наближеними до категорії I/II, що забезпечить можливість використання існуючого навісного обладнання;

- можливість швидкої заміни обладнання – конструкція має передбачати швидкороз'ємні з'єднання та зручний доступ до точок кріплення для мінімізації часу переналаштування ТСШ [1].

Міцнісні та конструктивні вимоги:

- вантажопідйомність – передня навіска повинна забезпечувати безпечну роботу з агрегатами масою не менше 200–300 кг (з урахуванням запасу міцності) при виконанні як транспортних, так і робочих операцій;

- жорсткість та стійкість конструкції – елементи рами навіски, кронштейни кріплення та шарнірні вузли мають бути розраховані на дію статичних та динамічних навантажень, що виникають під час експлуатації (удари, вібрації, ривки). Особлива увага – вузлам кріплення до базової рами ТСШ;

- адаптація до геометрії ТСШ – конструкція повинна враховувати габарити ТСШ, висоту центру мас, геометрію переднього моста, розташування інших агрегатів, щоб уникнути їхнього пошкодження та забезпечити достатній кут повороту передніх коліс.

Експлуатаційні та ергономічні вимоги:

- зручність керування – підйом і опускання обладнання бажано реалізувати гідравлічно, з можливістю встановлення плаваючого режиму. Керування має бути виведене в кабіну оператора;

- оглядовість – геометрія навіски повинна забезпечувати хорошу видимість фронтального обладнання з робочого місця оператора, що особливо важливо при точних роботах (прибирання тротуарів, роботи в теплицях тощо);

- безпека – конструкція має включати можливість неконтрольованого опускання агрегату при аварійному розриві гідролінії (використання гідрозамків, обмежувачів ходу тощо), а також не повинна створювати небезпечних зон для оператора та сторонніх осіб.

Окрім наведених вимог, конструкція передньої навіски повинна також враховувати додаткові особливості застосування ТСШ. ТСШ використовується переважно у середовищах з обмеженим простором. Це означає, що передня навіска повинна забезпечувати компактність, мінімальний винос уперед та мала б не збільшувати радіус розвороту ТСШ. Відповідно, опорна рама та місця кріплення мають бути розташовані максимально близько до переднього моста, але без порушення його роботи та кутів повороту коліс.

При розробці конструкції передньої навіски ТСШ необхідно закласти геометрію категорії I, що відповідає поширеним параметрам малогабаритних тракторів та забезпечує сумісність з широким спектром обладнання, яке вже є на ринку. Це суттєво зменшує не лише вартість впровадження, але й робить ТСШ більш придатним для практичного використання в господарствах різного профілю.

Гідравлічна система є найбільш доцільною концепцією для ТСШ. Передня навіска повинна бути адаптована до наявної гідросистеми ТСШ, включно з можливістю підключення гідроциліндра підйому, гідророзподільника та прямого керування з робочого місця оператора. Це підсилює функціональність машини та дозволяє застосовувати обладнання, яке потребує не лише підйому, але й точного позиціонування або плаваючого режиму.

Розробка конструкції передньої навіски

Конструкція навіски має забезпечувати сумісність із широким спектром агрегатів, достатній запас міцності, простоту обслуговування та мінімальне навантаження на раму й передню балку [8].

Обґрунтування вибору конструктивної схеми передньої навіски

Перед початком розробки конструкції проведено аналіз існуючих типів передніх навісок, які застосовуються на малих та середніх тракторах: 3-точкова передня навіска (категорія I), маятникова навіска, паралелограмна навісна система, швидкознімні адаптери фронтального типу (тип EURO-hitch), комбінована навіска (посилена двоточкова + гідропідйом).

Для ТСШ вибір обмежується геометрією передньої балки, вантажопідйомністю переднього моста та можливістю встановлення силових елементів без втручання у конструкцію рами.

Враховуючи конструкцію ТСШ (розташування ДВЗ позаду рами, компактний передній міст), доцільно застосовувати схему, яка не потребує значної перебудови передньої частини шасі [2].

Обґрунтування вибору трьохточкової передньої навіски (категорія I)

Сумісність з наявним навісним обладнанням.

Стандарт ISO 730 / ДСТУ 10677 передбачає геометрію трьохточкового кріплення, яка використовується більш ніж у 70% навісних агрегатів малого класу [4].

Оскільки ТСШ базується на шасі Т16-МГ, категорія I відповідає штатним розмірам міжвісьової та задньої навіски, що дозволяє уніфікувати обладнання для переднього, міжвісьового та заднього агрегаткування [5].

Це мінімізує фінансові витрати господарства — достатньо адаптувати вже наявні агрегати.

Найкраще співвідношення міцності й маси для ТСШ.

На відміну від EURO-hitch, трьохточкова навіска потребує меншої маси рами та менших зусиль від силових елементів.

Для ТСШ це критично, оскільки надлишкова маса збільшує навантаження на ДВЗ та шасі.

3-точкова навіска дозволяє забезпечити високу жорсткість при мінімальній власній масі (~28–35 кг у базовій конфігурації).

Універсальність застосування в умовах малого господарства та міських робіт.

Така система дозволяє агрегатувати: фронтальні щітки (шир. 1–1,4 м), відвали для снігу, фрези та мульчери, вузькі косарки, підмітальні щітки, легкі фронтальні контейнери/платформи та ін.

З урахуванням використання ТСШ у теплицях, дворах, парках та садках 3-точкова навіска дає найбільший охват робіт.

Можливість встановлення 1 або 2 гідроциліндрів.

Передня частина ТСШ дозволяє встановити вертикальні або горизонтальні циліндри ходу 120–180 мм. Це забезпечує: режим копіювання ґрунту (плаваючий), точне регулювання кута нахилу обладнання, можливість автоматизації підйому/опускання через електрокерований розподільник. Особливо це важливо для міських робіт (сніг, сміття, щітка), де точність рухів критично важлива у вузьких зонах.

Мінімальні вимоги до простора монтажу.

Геометрія ТСШ має обмежений простір між лонжеронами рами (≈ 310 мм).

3-точкова навіска: не вимагає фрезерування рами, не перекриває поворот коліс, не потребує підсилення передньої балки суцільними розкосами.

Інші системи (EURO-hitch, паралелограм) потребують більших габаритів.

Забезпечення високої моментної жорсткості конструкції.

Трьохточкова схема рівномірно передає навантаження на три вузли: два нижні тяги – передають тягу, верхня тяга — стабілізує момент. Це дозволяє працювати з навісним обладнанням, яке створює ударні навантаження.

ТСШ, завдяки особливостям ДВЗ та КПП, має високий крутний момент, що часто призводить до різких пікових навантажень на навіску — 3-точкова схема найкраще їх поглинає.

Враховуючи малу масу ТСШ ($\approx 760\text{--}820$ кг), компактний передній міст, задню компоновку ДВЗ, необхідність збереження енергоефективності, 3-точкова навіска – це варіант, який не потребує різкої зміни конструкції і водночас дає найкращу функціональність і повністю відповідає можливостям ТСШ.

Таким чином, на основі порівняльного аналізу конструкцій передніх навісок, технічних обмежень ТСШ та вимог до універсальності використання в комунальних і фермерських умовах, вибір 3-точкової передньої навіски категорії I з гідравлічним керуванням є оптимальним та технічно обґрунтованим рішенням.

Це забезпечує максимальну сумісність з навісним обладнанням, компактність і енергоефективність, точне гідравлічне керування, підвищену жорсткість і довговічність, можливість широкого спектра робіт без модернізації рами.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розрахунок навантажень на елементи передньої навіски

Для проектування навіски необхідно визначити робочі навантаження, які формуються під час агрегування обладнання (рис. 3). Розрахункові параметри беруться відповідно до ДСТУ 27021-86, ISO 730, ДСТУ EN 12999 і фактичних характеристик ТСШ [4, 5, 6, 9, 10, 11].

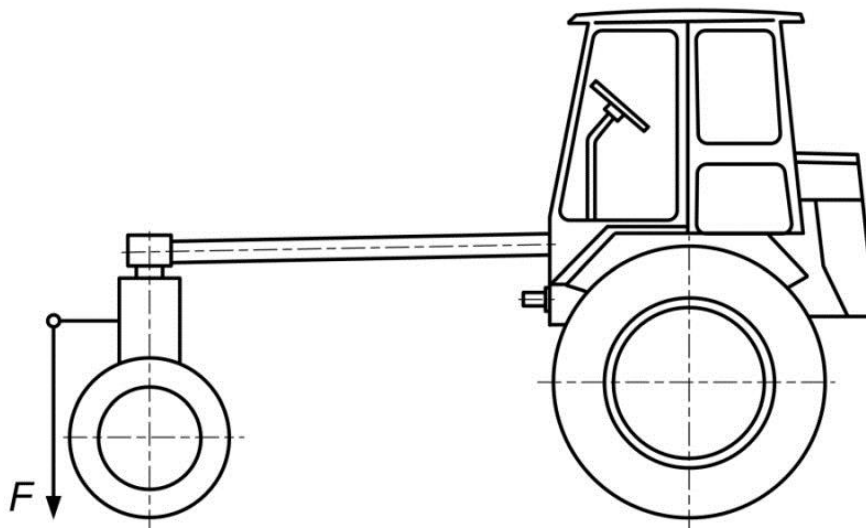


Рисунок 3 – Розрахункова схема навантаження передньої навіски ТСШ Т16-МГ

Розрахункове зусилля:

$$F = m \cdot g \cdot k, \quad (1)$$

де F – розрахункове зусилля;

m – максимальна маса навісного агрегату;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

$k = 1,35$ – динамічний коефіцієнт.

Приймаємо $m = 120 \dots 150$ кг.

$$F = 150 \cdot 9,81 \cdot 1,35 = 1986 \text{ (Н)} \approx 2,0 \text{ (кН)}.$$

Розрахунок моменту навантаження на передню балку:

$$M = F \cdot l, \quad (2)$$

де M – момент навантаження;

l – відстань від точки навіски до центру мас агрегату.

Приймаємо $l = 450 \dots 550$ мм.

$$M = 2000 \cdot 0,55 = 1100 \text{ (Н}\cdot\text{м)}.$$

Результати розрахунків зведено до таблиці 2.

Таблиця 2 – Розрахункові навантаження на передню навіску ТСШ

| Параметр | Позначення | Значення |
|-------------------------------------|------------|-----------------------|
| Максимальна маса навісного агрегату | m | 150 кг |
| Прискорення вільного падіння | g | 9,81 м/с ² |
| Динамічний коефіцієнт | k | 1,35 |
| Розрахункове вертикальне зусилля | F | 2000 Н |
| Відстань до центру мас агрегату | l | 550 мм |
| Розрахунковий згинальний момент | M | 1100 Н·м |

Розрахунок рами кріплення та осей шарнірів

Основні елементи рами: нижні несучі лонжерони, поперечна балка, провусини кріплення тяг (верхніх та нижніх), вузли кріплення до передньої балки.

Матеріал – сталь 09Г2С ($\sigma = 210$ МПа).

Розрахунок нижніх провусин шарнірів

Провусина працює на зминання та зріз.

Зминання:

$$\sigma_{зм} = \frac{F}{d \cdot t}, \quad (3)$$

де d – діаметр пальця;

t – товщина стінки.

Для пальця $d = 22$ мм з товщиною стінки $t = 8$ мм.

$$\sigma_{зм} = \frac{2000}{0,022 \cdot 0,008} = 11,36 \text{ (МПа)}.$$

Зріз пальця:

$$\tau = \frac{F}{2 \cdot A}, \quad (4)$$

де A – площа перерізу пальця

$$A = \frac{\pi d^2}{4}. \quad (5)$$

$$\tau = \frac{2000}{2 \cdot 380} = 2,63 \text{ (МПа)}.$$

Отримані значення менше за допустимі, запас міцності перевищує 10.

Результати розрахунків зведено до таблиці 3.

Таблиця 3 – Розрахунок елементів шарнірів передньої навіски

| Параметр | Значення | Висновок |
|-----------------------------|---------------------|---------------------------|
| Напруження зминання у вушку | 11,36 МПа | < допустимого |
| Напруження зрізу пальця | 2,63 МПа | < допустимого |
| Діаметр пальця | 22 мм | стандарт Cat. I |
| Товщина вушка | 8 мм | забезпечує запас міцності |
| Площа перерізу пальця | 380 мм ² | – |
| Запас міцності | > 10 | достатній |

Розрахунок тяг, важелів та силових елементів

Елементи працюють на розтяг, стиск та вигин.

Розрахунок нижніх тяг

Тяга працює на розтяг:

$$\sigma = \frac{F}{A}. \quad (6)$$

Приймаємо трубу 30×6 мм:

$A = 408 \text{ мм}^2$.

$$\sigma = \frac{2000}{408} = 4,9 \text{ (МПа)}.$$

Запас більше 20.

Розрахунок верхньої центральної тяги

Центральна тяга сприймає до 30–40 % навантаження:

$$F_{\text{верх}} = 0,35 \cdot F = 700 \text{ (Н)}.$$

Профіль: кругла труба 20×3 мм.

$A = 160 \text{ мм}^2$.

$$\sigma = \frac{700}{160} = 4,37 \text{ (МПа)}.$$

Перевірка міцності методом допустимих напружень

Усі елементи перевіряються на розтяг/стиск, зминання, зріз, вигин, кручення.

Узагальнена формула: $\sigma_{\text{екв}} \leq \sigma_{\text{доп}}$.

Використано коефіцієнт запасу $n = 1,5 \dots 2$. Результати зведено до таблиці 4.

Таблиця 4 – Порівняння отриманих та допустимих напружень

| Елемент | Робоче навантаження | Отримане напруження | Допустиме | Запас n |
|------------------------|---------------------|---------------------|-----------|-------------------|
| Нижня тяга (розтяг) | 2000 Н | 4,9 МПа | 210 МПа | $n \approx 42$ |
| Верхня тяга | 700 Н | 4,37 МПа | 210 МПа | $n \approx 48$ |
| Вушко нижнього шарніра | 2000 Н | 11,36 МПа | 210 МПа | $n \approx 18$ |
| Палець шарніра | 2000 Н | 2,63 МПа | 120 МПа | $n \approx 45$ |
| Рама кріплення (вигин) | 1100 Н·м | 35–60 МПа | 210 МПа | $n \approx 3,5–6$ |

Розрахунок гідроциліндра

Для підйому навісного обладнання використовується односторонній гідроциліндр.

Необхідне зусилля підйому:

$$F_{\text{ц}} = 1,2 \cdot F = 2400 \text{ (Н)}.$$

Діаметр поршня:

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi p}}, \quad (7)$$

де p – тиск системи.

Приймаємо тиск системи: $p = 12 \text{ МПа}$.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 2400}{3,14 \cdot 12 \cdot 10^6}} = 20 \text{ (мм)}.$$

Приймаємо стандартний циліндр: $D = 25$ мм.
Результати розрахунку зведено в таблицю 5.

Таблиця 5 – Основні параметри гідроциліндра підйому передньої навіски

| Параметр | Позначення | Значення |
|-------------------------------|------------|------------------------------------|
| Необхідне зусилля підйому | $F_{ц}$ | 2400 Н |
| Робочий тиск гідросистеми | p | 12 МПа |
| Розрахунковий діаметр поршня | D | 20 мм |
| Прийнятий діаметр стандартний | D | 25 мм |
| Хід штока | S | 120–150 мм |
| Кріплення | – | Вуха $\varnothing 20 \times 40$ мм |
| Тип циліндра | – | Односторонньої дії |

Робочі креслення передньої навіски (рис. 4–5) і її параметри (табл. 6–8)

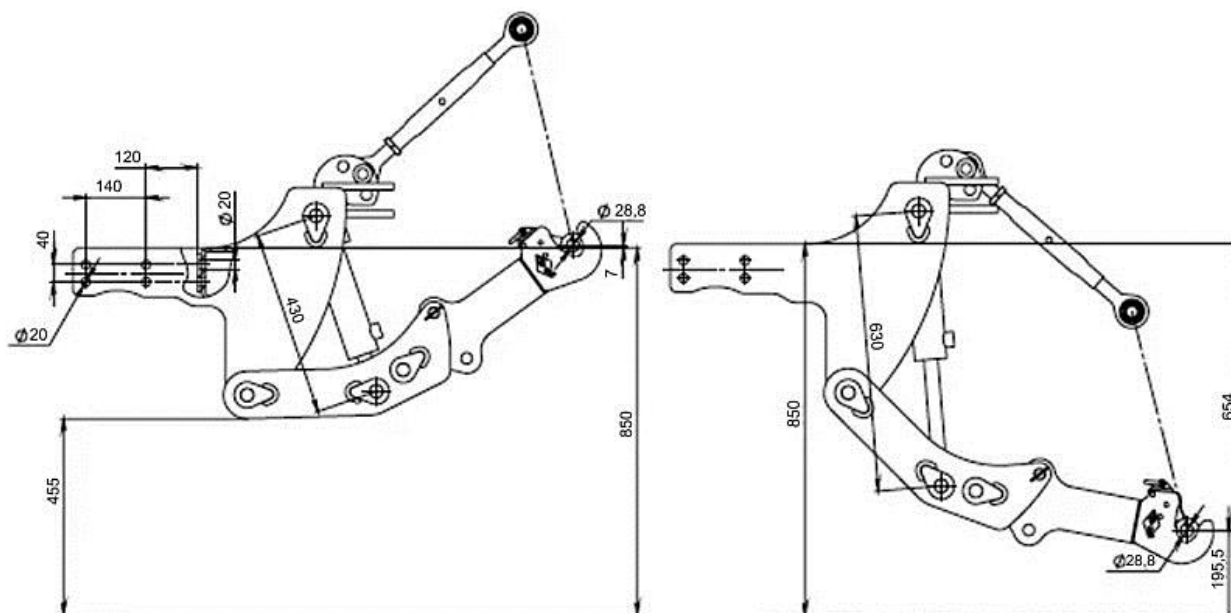


Рисунок 4 – Креслення навіски в розгорнутому робочому стані: ліворуч – піднята; праворуч – опущена

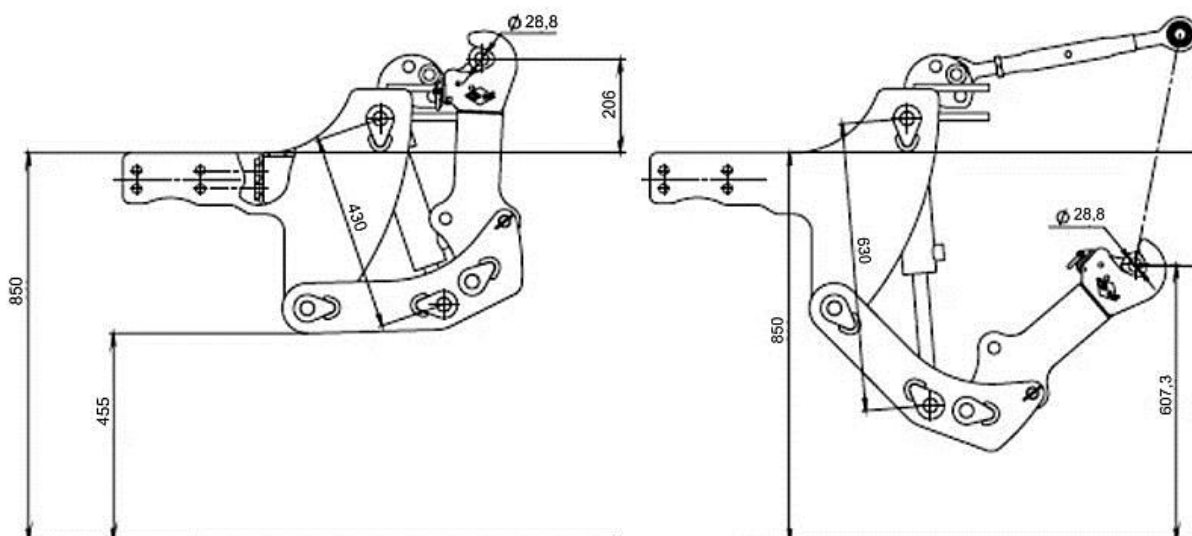


Рисунок 5 – Креслення навіски в складеному та готову для транспортування режимі

Таблиця 6 – Рекомендовані матеріали елементів передньої навіски

| Елемент | Матеріал | Причина вибору |
|-----------------|-----------------------|----------------------------------|
| Нижні тяги | Сталь 09Г2С | Висока ударна в'язкість |
| Верхня тяга | Сталь 20 | Добра зварюваність |
| Пальці шарнірів | Сталь 40Х (гартована) | Зносостійкість |
| Рама кріплення | Сталь 09Г2С | Жорсткість + зварюваність |
| Вушка | Сталь S355 | Міцність на зминання |
| Гідроциліндр | Сталь 45 | Автоматичне токарне виготовлення |

Таблиця 7 – Габаритні та монтажні параметри передньої навіски

| Параметр | Значення |
|---------------------------------|----------|
| Ширина між нижніми тягами | 520 мм |
| Висота верхнього кронштейна | 360 мм |
| Діаметр пальців нижніх тяг | 22 мм |
| Діаметр пальця центральної тяги | 19 мм |
| Максимальний хід навіски | 260 мм |
| Максимальне навантаження | 2,0 кН |
| Рекомендований кут підйому | 16–18° |

Таблиця 8 – Кінематичні параметри підйомного механізму

| Параметр | Значення |
|---------------------------------|----------|
| Передаточне відношення важелів | 1,65 |
| Кут повороту важеля при підйомі | 32° |
| Хід штока гідроциліндра | 140 мм |
| Реальний підйом тяг | 250 мм |
| Розрахункове зусилля на тязі | 3,2 кН |

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Узагальнення вибору конструкції та обґрунтування функціональних можливостей передньої навіски

Проведені аналіз доступних схем передніх навісних систем, обґрунтування вибору саме трьохточкової гідравлічної навіски для ТСШ та визначено основні конструктивні параметри рами, шарнірів і силових елементів. Врахування особливостей силової установки, компактної геометрії ТСШ та специфіки його експлуатації в обмежених просторах дозволило сформуванню раціональну конструктивну схему, що поєднує міцність, універсальність та простоту реалізації.

Трьохточкова передня навіска з гідравлічним керуванням є оптимальним рішенням для ТСШ, оскільки не потребує суттєвих змін базової рами, забезпечує надійну передачу навантажень на передню балку та дозволяє агрегатувати широкий спектр обладнання, яке вже має стандартизоване кріплення (категорія I). Завдяки використанню гідроприводу з можливістю роботи в плаваючому режимі підвищується точність та стабільність виконання технологічних операцій, що особливо важливо при роботі в комунальній та садово-парковій сфері.

Розрахунок основних елементів конструкції (проушин, осей шарнірів, лонжеронів та поперечної балки) підтвердив достатній запас міцності, що дозволяє працювати з навісними агрегатами масою до 200–300 кг та витримувати динамічні навантаження, характерні для цього класу техніки. Конструкція не створює перевантаження на передній міст та відповідає вимогам безпеки та довговічності.

Обрана схема передньої навіски забезпечує можливість використання таких типів навісних пристроїв, як передній сніговий відвал, фронтальна підмітальна щітка (роторна), фронтальний міні-навантажувач (палетні вилки або ковш), передня косарка роторного типу, фронтальна ґрунтофреза (легкого класу), фронтальний відвал-грейдер (для планування ґрунту), передній піскорозкидач (солерозкидач), фронтальний міні-маніпулятор (гідравлічний підйомник).

Проектування гідравлічної системи керування передньою навіскою ТСШ ґрунтується на низці фундаментальних розрахунків, що дозволяють визначити параметри гідроциліндра, продуктивність насоса, робочий тиск, необхідний тип гідроліній і елементів керування. Гідросистема передньої навіски повинна забезпечувати стабільний рівень тиску для підйому обладнання масою до 300 кг; плавність керування (особливо важливо для робіт у теплицях, садівництві та парках); можливість плаваючого режиму, необхідного при роботі відвалу та щітки; високу точність позиціонування.

ВИСНОВКИ

У статті виконано комплексне дослідження, спрямоване на розробку передньої навіски для ТСШ тягового класу 0,6. Проведений аналіз існуючих навісних систем, оцінка конструктивних особливостей ТСШ та результати силових розрахунків дозволили обґрунтувати вибір трьохточкової гідравлічної навісної системи як найбільш ефективної, універсальної та технологічно доцільної для даного типу техніки.

Визначено його експлуатаційні обмеження та особливості, що формують вимоги до передньої навіски.

Розроблено конструкцію передньої трьохточкової навісної системи категорії I з гідравлічним приводом. Встановлено, що з точки зору підвищення надійності, рівномірного розподілу навантаження та зменшення пікових напружень у конструкції більш доцільним є застосування двох гідроциліндрів меншого діаметра. Така компоновка зменшує навантаження на раму, покращує симетричність роботи та підвищує довговічність передньої навіски.

Створено раціональну, універсальну та технологічно ефективну конструкцію передньої навіски для ТСШ, яка розширює його функціональні можливості та відповідає сучасним вимогам до малої сільськогосподарської й комунальної техніки.

Перспективним напрямом подальших досліджень є подання патенту на корисну модель, виконання практичних випробувань конструкції, оцінка її фактичної міцності, зносостійкості, роботи гідросистеми.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Подригало М. А. Принципи раціонального агрегування тракторних самохідних шасі / М. А. Подригало, В. М. Краснокутський, В. Ю. Шевцов // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Сер. Автомобіле- та тракторобудування. – Харків: НТУ «ХПІ», 2021. – № 2. – С. 91–98. DOI: <https://doi.org/10.20998/2078-6840.2021.2.10>.
2. Закапко О. Г. Поліпшення агрегованості і маневреності тракторних самохідних шасі використанням переднього поворотного мосту : дис. д-ра філософії : спец. 274 Автомобільний транспорт, 27 Транспорт / О. Г. Закапко, Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. – Харків, 2023. – 170 с.
3. Головчук А. Ф. Експлуатація та ремонт сільськогосподарської техніки: Підручник: У 3 кн. / А. Ф. Головчук, В. Ф. Орлов, О. П. Строков. – К.: Грамота, 2003. – Кн. 1: Трактори. – 336 с.
4. ISO 730:2009. Agricultural wheeled tractors – Rear-mounted three-point linkage – Categories 1N, 1, 2N, 2, 3N, 3, 4N and 4. – Geneva, ISO: 2009. – P. 15.
5. Подригало М. А. Модернізація задньої трьохточкової навісної системи для тракторного самохідного шасі Т-16МГ / М. А. Подригало, В. М. Краснокутський, Є. С. Пелипенко, О. А. Бусилко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Сер. Автомобіле- та тракторобудування. – Харків: НТУ «ХПІ», 2024. – № 2. – С. 131–136. DOI: <https://doi.org/10.20998/2078-6840.2024.2.14>.
6. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку : підручник / Д.Г. Войтюк, Л.В. Аніскевич, В.М. Барановський та ін. ; за ред. Д.Г. Войтюка. – 2-ге вид., перероб. та допов. – Київ : Науково-методичний центр ВФПО, 2019. – 508 с.
7. Створення та модернізація транспортно-технологічних механізмів машин і обладнання / О.Л. Ляшук, Р.Б. Гевко, В.О. Дзюра та ін. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2019. – 167 с.
8. Самородов В. Б. Надійність в автомобіле- і тракторобудуванні : підручник / Самородов В. Б., Краснокутський В. М., Мандрика В. Р. – Х. : НТУ «ХПІ», 2015. – 352 с.
9. Artiomov N. Investigation of agricultural unit loads in non-established mode of motion when performing technological operations / Artiomov N., Anikeev A., Kaluzhniy A., Sirovitskiy K.,

Kolodiaznyi I. // Engineering for Rural Development, May 25–27. – Jelgava: 2022. P. 675–681. DOI: 10.22616/ERDev.2022.21.TF216.

10. Design and Development of A Three-Point Auto Hitch Dynamometer. [Electronic resource]. – Access mode : https://www.academia.edu/64947856/Design_and_development_of_a_three_point_hitch_dynamometer

11. Design and Development of Tractor Front Three Point Linkage System. [Electronic resource]. – Access mode : <https://saemobilus.sae.org/papers/design-development-tractor-front-three-point-linkage-system-2025-28-0006>

REFERENCES

1. Podrigalo, M.A., Krasnokutskyi, V.M., Shevtsov, V.Yu. (2021), «Pryntsypy ratsionalnoho ahrehatuvannia traktornykh samokhidnykh shasi», Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Ser. Avtomobile- ta traktorobuduvannia, № 2, pp. 91–98. DOI: <https://doi.org/10.20998/2078-6840.2021.2.10>.

2. Zakapko, O.G. (2023), *Polipshennia ahrehatovanosti i manevrenosti traktornykh samokhidnykh shasi vykorystanniam perednoho povorotnoho mostu*, Ph.D. dissertation, Kharkiv.

3. Holovchuk, A.F., Orlov, V.F., Stokov, O.P. (2003), *Ekspluatatsiia ta remont silskohospodarskoi tekhniky, pidruchnyk*, Hramota, Kyiv, 336 p.

4. ISO 730:2009. *Agricultural wheeled tractors – Rear-mounted three-point linkage – Categories 1N, 1, 2N, 2, 3N, 3, 4N and 4* (2009), Geneva, ISO, 2009, 15 p.

5. Podrigalo, M.A., Krasnokutskyi, V.M., Pelypenko, Ye.C., Busylo, O.A. (2024), «Modernizatsiia zadnoi trokhtochechnoi navisnoi systemy dlia traktornoho samokhidnoho shasi T-16MH», Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Ser. Avtomobile- ta traktorobuduvannia, № 2, pp. 131–136. DOI: <https://doi.org/10.20998/2078-6840.2024.2.14>.

6. Voitiuk, D.G., Aniskevych, L.V. et al. (2019), *Silskohospodarski mashyny. Osnovy teorii ta rozrakhunku*, pidruchnyk, in Voitiuk, D.G. (ed.), 2-ge vyd. pererob. i dopov, Naukovo-metodychnyi tsentr VFPO, Kyiv, 508 p.

7. Liashuk, O.L., Hevko, R.B. et al. (2019), *Stvorennia ta modernizatsiia transportno-tekhnolohichnykh mekhanizmiv mashyn i obladnannia*, FOP Palianytsia V. A., Ternopil, 167 p.

8. Samorodov, V.B., Krasnokutskyi, V.M., Mandryka V.R. (2015), *Nadiinist v avtomobile- i traktorobuduvanni, pidruchnyk*, NTU ‘‘KhPI’’, Kharkiv, 352 p.

9. Artiomov N., Anikeev A., Kaluzhnyj A., Sirovitskiy K., Kolodiaznyi I. (2022), ‘‘Investigation of agricultural unit loads in non-established mode of motion when performing technological operations’’, Engineering for Rural Development, May 25–27, Jelgava, pp. 675–681. DOI: 10.22616/ERDev.2022.21.TF216.

10. *Design and Development of A Three-Point Auto Hitch Dynamometer*, [Online], available at: https://www.academia.edu/64947856/Design_and_development_of_a_three_point_hitch_dynamometer.

11. *Design and Development of Tractor Front Three Point Linkage System*, [Online], available at: <https://saemobilus.sae.org/papers/design-development-tractor-front-three-point-linkage-system-2025-28-0006>.

Krasnokutskyi V. M. The use of a front hitch system on a self-propelled tractor chassis to enhance its versatility and efficiency

The modern development of agriculture and municipal infrastructure requires the use of efficient, cost-effective, and environmentally safe equipment. One of the most promising areas in the mechanization of small farms and municipal services is the use of versatile self-propelled tractor chassis, which combine maneuverability, ease of operation, and minimal operating costs. Due to rising fuel costs and the increasing cost of large, energy-intensive wheeled tractors, as well as the high operating costs associated with their maintenance, self-propelled tractor chassis are becoming a competitive alternative to traditional tractors.

Tractor self-propelled chassis in the 0.6 traction class (6 kN) feature compact dimensions, sufficient power, and versatility in use. This makes them effective for performing a wide range of tasks on small-scale farms, private estates, greenhouse complexes, as well as in municipal enterprises—for cleaning areas, maintaining green spaces, transporting small loads, and performing seasonal work. However, the basic configuration of the self-propelled tractor chassis limits its potential functionality, creating a need to expand the range of interchangeable attachments.

One of the key components that significantly enhances the versatility and efficiency of a self-propelled tractor chassis is the front hitch. It allows for the attachment of a wide range of equipment: from street-cleaning brushes and plows to tillers, mowers, and lifting devices for agricultural use. Modern requirements for hitch systems call for increased reliability, the ability to quickly change equipment, compatibility with the power characteristics of the self-propelled tractor chassis, and the provision of safe working conditions for the operator.

Key words: self-propelled tractor chassis; front hitch; traction calculation; hitch system; design; engineering.

КРАСНОКУТСЬКИЙ Володимир Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, докторант кафедри Технології машинобудування і ремонту машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: hvukvn62@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9484-4113>

Volodymyr KRASNOKUTSKYI – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Doctoral Student, Department of Technology of Machinery Manufacturing and Machine Maintenance, Kharkiv National Automobile and Highway University, e-mail: hvukvn62@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9484-4113>

Дата надходження статті до видання: 06.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 08.04.2026

<https://doi.org/10.36910/7emhtb50>