

Коломицев В.М.<https://orcid.org/0009-0004-1187-6259>

Національна академія Національної гвардії України

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ КОНСТРУКЦІЙ ТРАНСМІСІЙ ПОВНОПРИВІДНИХ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ

Стаття присвячена аналізу сучасних конструкцій трансмісії повнопривідних вантажних автомобілів та оцінці їх впливу на основні експлуатаційні показники машин підвищеної прохідності. Розглянуто призначення і загальну будову трансмісії вантажного автомобіля, визначено її роль у забезпеченні прохідності, керованості, паливної економічності та надійності в складних дорожніх і кліматичних умовах експлуатації. Узагальнено основні вимоги до трансмісій повнопривідних автомобілів, зокрема щодо міцності, ефективності розподілу крутного моменту, високого коефіцієнта корисної дії, універсальності та автоматизації керування.

Проведено порівняльний аналіз механічних, автоматизованих та гідромеханічних трансмісій, визначено їх переваги та обмеження при використанні у важких умовах експлуатації. Встановлено, що механічні трансмісії залишаються найбільш поширеними завдяки простоті конструкції та високому ККД, тоді як автоматизовані й гідромеханічні системи забезпечують підвищену плавність роботи, але характеризуються більшою складністю та залежністю від електронних систем керування.

Окрему увагу приділено аналізу систем повного приводу з постійним підключенням ведучих мостів, примусовим підключенням та застосуванням міжосьових диференціалів. Систематизовано їх основні недоліки, зокрема підвищені втрати потужності, ударні навантаження та складність конструкції. Доведено, що існуючі рішення не завжди забезпечують оптимальне поєднання прохідності, економічності та керованості, що обґрунтовує необхідність подальшого удосконалення трансмісій повнопривідних вантажних автомобілів. Для повнопривідних вантажних автомобілів конструкція трансмісії ускладнюється необхідністю узгодження роботи кількох ведучих мостів. Неправильний розподіл крутного моменту або жорстке з'єднання мостів у невідповідних умовах руху може призводити до виникнення циркуляції потужності, підвищеного зносу деталей та погіршення керованості автомобіля.

Отримані результати формують науково обґрунтовану базу для вибору перспективного напрямку модернізації трансмісії із застосуванням керованого повного приводу та гнучкого розподілу крутного моменту між ведучими мостами.

Ключові слова: повнопривідний вантажний автомобіль, трансмісія, система повного приводу, механічна трансмісія, автоматизована трансмісія, розподіл крутного моменту, прохідність, експлуатаційні показники.

Постановка проблеми. Автомобільний транспорт відіграє важливу роль у забезпеченні економічних, виробничих та оборонних потреб держави. Особливе місце серед транспортних засобів займають вантажні автомобілі підвищеної прохідності, які експлуатуються у складних дорожніх, кліматичних та експлуатаційних умовах. Ефективність роботи таких автомобілів значною мірою залежить від конструкції їх трансмісії, оскільки саме вона забезпечує передачу крутного моменту від двигуна до ведучих коліс та визначає тягові, динамічні й експлуатаційні характеристики транспортного засобу.

У сучасних умовах експлуатації вантажних автомобілів все частіше виникає потреба поєднання

високої прохідності з належною керованістю, курсовою стійкістю та паливною економічністю. Традиційні схеми повного приводу, які передбачають постійне підключення всіх ведучих мостів, забезпечують високу прохідність, однак супроводжуються підвищеними втратами енергії в трансмісії, збільшенням витрати пального, зростанням зносу агрегатів та погіршенням керованості під час руху по дорогах з твердим покриттям. У свою чергу, вантажні автомобілі з заднім приводом, хоча і є більш економічними, не завжди здатні забезпечити необхідну прохідність у складних дорожніх умовах.

Одним із перспективних напрямів удосконалення трансмісій вантажних автомобілів є засто-

сування схем з постійним приводом на передній ведучий міст та можливістю автоматичного або примусового підключення заднього ведучого моста. Такий підхід дозволяє поєднати переваги переднього приводу, а саме покращену керованість і курсову стійкість, з можливістю реалізації повного приводу у разі погіршення умов руху. Реалізація подібних схем потребує застосування спеціальних пристроїв розподілу крутного моменту, серед яких перспективним рішенням є використання багатодискових фрикційних муфт з керованим режимом роботи.

В умовах сучасних бойових дій виникає необхідність підвищення експлуатаційних властивостей повнопривідних вантажних автомобілів шляхом удосконалення конструкції їх трансмісії. Особливо важливим є створення таких конструктивних рішень, які забезпечують автоматичну адаптацію трансмісії до умов руху без втручання водія, зменшення втрат потужності, підвищення надійності агрегатів та покращення загальних показників ефективності автомобіля.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання вдосконалення конструкцій та підвищення експлуатаційних властивостей вантажних автомобілів підвищеної прохідності є об'єктом активних наукових дискусій. Зокрема, у роботі Коробко А.І та Семенова І.В. [1] проведено системний аналіз сучасних тенденцій розвитку трансмісій, де доведено, що ефективність повнопривідних машин безпосередньо залежить від здатності системи адаптуватися до змінних дорожніх умов шляхом раціонального розподілу потужності між ведучими колесами. Автори зазначають, що автоматизація керування трансмісією є ключовим фактором підвищення надійності в екстремальних режимах експлуатації.

Дослідження Коломицева В. М. [2] присвячені еволюції будови вантажних автомобілів від класичних схем до сучасних високотехнологічних зразків. Автор обґрунтовує, що для військових вантажівок критично важливою є інтеграція електронних систем керування та використання інноваційних матеріалів, що дозволяє підвищити загальну ефективність та живучість шасі в умовах сучасного театру воєнних дій.

Питання розвитку важких колісних тактичних автомобілів (ВТА) детально висвітлено у праці Кохана В. Ф. [3]. Автор формулює базові вимоги до перспективного парку техніки ЗС України, спираючись на досвід країн НАТО, та вказує, що перехід на нове покоління ВТА потребує впровадження незалежних підвісок та нових схем при-

водів для забезпечення необхідного рівня мобільності та захисту.

Окремий пласт досліджень стосується впровадження комбінованих (гібридних) енергетичних установок. У дослідженнях Крайника Л. [4] запропоновано методичні засади визначення параметрів гібридного приводу, що базуються на аналізі тягово-динамічних характеристик при русі в умовах повного бездоріжжя. Розвиваючи цю тематику, Кіхтан А. у статті [5] доводить, що використання гібридних схем дозволяє не лише покращити паливну економічність, а й забезпечити специфічні військові потреби, такі як мінімізація звукової та інфрачервоної локації під час переміщення.

Незважаючи на значний обсяг проведених досліджень, залишається актуальним питання розробки конкретних технічних рішень для оптимізації роботи трансмісій з керованим підключенням мостів. Зокрема, потребує додаткового вивчення ефективність використання багатодискових фрикційних муфт для усунення явищ циркуляції потужності в трансмісіях вантажних автомобілів, що і розглядається у даній статті.

Постановка завдання. Метою статті є підвищення прохідності, керованості та ефективності роботи вантажного автомобіля шляхом конструктивного удосконалення трансмісії з постійним приводом на передній ведучий міст і керованим підключенням заднього моста.

Виклад основного матеріалу. Трансмісія є однією з основних систем вантажного автомобіля, яка забезпечує передачу крутного моменту від двигуна до ведучих коліс, а також зміну його величини та напрямку залежно від режимів руху і умов експлуатації [1]. Від конструктивних особливостей трансмісії значною мірою залежать тягово-динамічні властивості автомобіля, його прохідність, керованість, паливна економічність та надійність у процесі експлуатації [2].

Для вантажних автомобілів, які експлуатуються у складних дорожніх умовах, трансмісія повинна забезпечувати можливість ефективної реалізації потужності двигуна як на дорогах з твердим покриттям, так і на ґрунтових, слизьких або деформованих поверхнях [4]. У таких умовах особливого значення набуває правильний розподіл крутного моменту між ведучими мостами, а також здатність трансмісії адаптуватися до змін навантаження без зниження керованості та стійкості автомобіля [1].

Загалом трансмісія вантажного автомобіля виконує такі основні функції:

- передає крутний момент від двигуна до ведучих коліс;
- змінює величину крутного моменту та частоту обертання залежно від умов руху;
- забезпечує можливість рушання з місця, руху заднім ходом і тривалої роботи двигуна на холостому ході;
- здійснює розподіл крутного моменту між ведучими мостами у повнопривідних автомобілях [1].

У типовому виконанні трансмісія вантажного автомобіля складається з таких основних елементів: зчеплення, коробки передач, карданної передачі, головної передачі, диференціалів та півосей [2]. У повнопривідних автомобілях до складу трансмісії додатково входить роздавальна коробка, яка забезпечує підключення одного або кількох ведучих мостів і розподіл крутного моменту між ними.

Крутний момент від двигуна через зчеплення передається на коробку передач, де здійснюється зміна передаточних чисел відповідно до режиму руху автомобіля.

Далі крутний момент надходить до роздавальної коробки, яка забезпечує його розподіл між переднім і заднім ведучими мостами. Через карданні передачі крутний момент передається до переднього та заднього ведучих мостів. У ведучих мостах крутний момент проходить через головні передачі та диференціали і передається на ведучі колеса, забезпечуючи рух вантажного автомобіля [2].

Важливою особливістю трансмісій вантажних автомобілів є робота в умовах значних навантажень і крутних моментів, що зумовлює підвищені вимоги до міцності, жорсткості та довговічності її елементів [3]. Крім того, трансмісія повинна забезпечувати стабільну роботу за тривалих навантажень, характерних для руху з повним завантаженням, а також у режимах частих зупинок і рушань.

Для повнопривідних вантажних автомобілів конструкція трансмісії ускладнюється необхідністю узгодження роботи кількох ведучих мостів. Неправильний розподіл крутного моменту або жорстке з'єднання мостів у невідповідних умовах руху може призводити до виникнення циркуляції потужності, підвищеного зносу деталей та погіршення керованості автомобіля [1]. Саме тому сучасні трансмісії все частіше оснащуються керованими елементами, які дозволяють автоматично змінювати режим роботи залежно від умов експлуатації [2].

Трансмісія в системі вантажного автомобіля виконує комплекс взаємопов'язаних функцій, які забезпечують можливість ефективного викорис-

тання потужності двигуна в різних умовах руху. На відміну від двигуна, який працює в обмеженому діапазоні частот обертання та крутних моментів, трансмісія дозволяє адаптувати ці параметри до вимог дорожніх і експлуатаційних умов [5].

Таблиця 1

Основні елементи трансмісії вантажного автомобіля та їх призначення

Елемент трансмісії	Основне призначення
Зчеплення	Короткочасне роз'єднання двигуна з трансмісією
Коробка передач	Зміна передаточного числа та режимів руху
Карданна передача	Передача моменту між агрегатами
Роздавальна коробка	Розподіл крутного моменту між мостами
Диференціал	Забезпечення різних швидкостей обертання коліс

Основною функцією трансмісії є передача крутного моменту від двигуна до ведучих коліс автомобіля. При цьому передача моменту здійснюється через ряд механічних агрегатів, кожен з яких виконує свою окрему задачу, але всі вони працюють як єдина система. Надійність і ефективність цієї передачі безпосередньо впливають на тягові можливості автомобіля та його здатність рухатися з навантаженням [4].

Для повнопривідних вантажних автомобілів додатковою і надзвичайно важливою функцією трансмісії є розподіл крутного моменту між ведучими мостами. Правильний розподіл моменту дозволяє підвищити прохідність автомобіля, зменшити пробуксовування коліс та покращити курсову стійкість [1].

Трансмісія повнопривідного вантажного автомобіля працює в умовах значно складніших, ніж трансмісія легкового або автомобіля з заднім приводом. Це зумовлено великими масами транспортних засобів, високими крутними моментами двигунів, змінними дорожніми умовами та необхідністю забезпечення надійної роботи при тривалих навантаженнях [3]. У зв'язку з цим до трансмісій повнопривідних вантажних автомобілів висувається ряд специфічних вимог, які необхідно враховувати на етапі проектування та удосконалення їх конструкції [4].

Однією з основних вимог є висока міцність і надійність елементів трансмісії. Деталі трансмісії повинні витримувати значні крутні моменти, а також короткочасні пікові навантаження, що виникають під час рушання з місця, руху по бездоріжжю або подолання підйомів. Недостатня міцність окремих елементів може призводити до

передчасного виходу з ладу агрегатів і зниження загальної надійності автомобіля.

Важливою вимогою є забезпечення ефективного розподілу крутного моменту між ведучими мостами. У повнопривідних автомобілях неправильний або жорстко фіксований розподіл моменту може викликати пробуксовування коліс, підвищений знос шин і деталей трансмісії, а також погіршення керованості. Тому сучасні трансмісії повинні забезпечувати можливість адаптації розподілу крутного моменту залежно від умов руху [5].

У процесі розвитку автомобільної техніки було створено кілька основних типів трансмісій, які відрізняються принципом передачі та перетворення крутного моменту, рівнем автоматизації, складністю конструкції та експлуатаційними характеристиками. Для вантажних автомобілів вибір типу трансмісії має особливе значення, оскільки вони працюють у режимах значних навантажень, тривалого руху та часто в складних дорожніх умовах.

Найбільш поширеними у вантажному автомобілебудуванні є механічні, автоматизовані та гідромеханічні трансмісії. Кожен із цих типів має свої переваги та недоліки, які проявляються залежно від умов експлуатації, призначення автомобіля та вимог до його тягових і динамічних властивостей [1]. При цьому для повнопривідних вантажних автомобілів до трансмісії додатково висуваються вимоги щодо ефективного розподілу крутного моменту між ведучими мостами та забезпечення стійкої роботи в умовах змінного зчеплення коліс з дорогою.

Механічні трансмісії характеризуються простою конструкцією, високим коефіцієнтом корисної дії та надійністю, що робить їх доцільними для використання на автомобілях, які експлуатуються у важких умовах. Водночас такі трансмісії потребують активної участі водія в процесі керування та мають обмежені можливості адаптації до змін умов руху.

Автоматизовані та гідромеханічні трансмісії дозволяють зменшити навантаження на водія та забезпечити більш плавну роботу автомобіля, однак їх конструкція є складнішою, а втрати енергії – більшими у порівнянні з механічними. Для вантажних автомобілів ці особливості мають принципове значення, оскільки впливають на паливну економічність і надійність трансмісії в цілому.

Для вантажних автомобілів характерною є робота механічної трансмісії в умовах високих і змінних крутних моментів. Це обумовлює застосування посиленних зубчастих передач, валів збільшеного діаметра та надійних підшипникових

вузлів [3]. Коробки передач вантажних автомобілів зазвичай мають більшу кількість передач, що дозволяє точніше підбирати режим роботи двигуна залежно від умов руху і навантаження.

Механічні трансмісії також мають високу придатність до конструктивного удосконалення. Відносна простота їх будови дозволяє впроваджувати додаткові елементи, зокрема керовані фрикційні муфти, без суттєвого ускладнення всієї конструкції. Це відкриває можливості для створення більш ефективних схем розподілу крутного моменту між ведучими мостами.

Автоматизовані та гідромеханічні трансмісії є наступним етапом розвитку систем передачі крутного моменту у вантажних автомобілях. Їх поява пов'язана з прагненням зменшити навантаження на водія, підвищити плавність руху та забезпечити більш стабільну роботу автомобіля в різних умовах експлуатації. На відміну від класичних механічних трансмісій, у цих системах значна частина процесів керування передачею крутного моменту здійснюється автоматично [2].

Автоматизована механічна трансмісія за своєю конструкцією базується на традиційній механічній коробці передач, однак процеси перемикавання передач і керування зчепленням виконуються за допомогою електронних та електромеханічних систем. Такий підхід дозволяє зберегти високий коефіцієнт корисної дії механічної трансмісії та одночасно зменшити участь водія у процесі керування.

Гідромеханічні трансмісії відрізняються від механічних і автоматизованих тим, що передача крутного моменту здійснюється з використанням гідравлічних елементів, зокрема гідротрансформатора. Гідротрансформатор забезпечує плавне передавання потужності від двигуна до трансмісії, а також дозволяє автоматично змінювати величину крутного моменту залежно від навантаження [1].

Системи повного приводу займають особливе місце у конструкції вантажних автомобілів підвищеної прохідності. Їх основним призначенням є забезпечення ефективної передачі крутного моменту на декілька ведучих коліс з метою підвищення прохідності автомобіля в складних дорожніх умовах. Застосування повного приводу дозволяє значно покращити тягові можливості автомобіля, зменшити пробуксовування коліс та підвищити стійкість руху [4].

Для вантажних автомобілів системи повного приводу повинні забезпечувати не лише високу прохідність, а й стабільну роботу при значних навантаженнях і тривалих режимах руху. При цьому важливим є збереження прийнятного рівня паливної економічності та мінімізація зносу еле-

ментів трансмісії при русі по дорогах з твердим покриттям [5].

Залежно від способу реалізації повного приводу розрізняють системи з постійним підключенням ведучих мостів, системи з автоматичним підключенням одного з мостів, а також комбіновані схеми, які поєднують елементи обох підходів [1]. Кожна з цих систем має свої переваги та недоліки, що обумовлює необхідність їх детального аналізу.

Система постійного повного приводу характеризується високою прохідністю та стабільною реалізацією тягового зусилля, однак може супроводжуватися підвищеними навантаженнями в трансмісії та зростанням втрат потужності при русі по дорогах з твердим покриттям, що зумовлює необхідність подальшого удосконалення схем повного приводу.

Одним із найбільш ефективних і поширених рішень для реалізації керованого повного приводу у вантажних автомобілях є застосування фрикційних муфт. Використання таких муфт дозволяє здійснювати плавне та кероване підключення ведучих мостів, що є важливою перевагою у порівнянні з жорсткими механічними з'єднаннями.

Фрикційна муфта являє собою механічний пристрій, у якому передача крутного моменту здійснюється за рахунок сил тертя між робочими поверхнями. Залежно від конструкції та способу керування, фрикційні муфти можуть забезпечувати як повне, так і часткове передавання крутного моменту. Це дозволяє регулювати ступінь участі додаткового ведучого моста в роботі трансмісії [5].

У системах повного приводу фрикційні муфти найчастіше застосовуються у складі роздавальних коробок або міжосьових приводів. У нормальних умовах руху муфта може перебувати у розімкненому або частково замкненому стані, передаючи мінімальний крутний момент. При виникненні пробуксовування або збільшенні навантаження муфта поступово замикається, підключаючи додатковий ведучий міст.

Основною перевагою застосування фрикційних муфт є плавність підключення повного приводу. На відміну від жорсткого механічного вмикання, фрикційна муфта дозволяє уникнути ударних навантажень у трансмісії, що позитивно впливає на довговічність її елементів і покращує керованість автомобіля.

Найбільш перспективними для вантажних автомобілів є багатодискові фрикційні муфти, які дозволяють передавати значні крутні моменти при відносно компактних габаритах. Зміна тиску притискання дисків у такій муфті забезпечує регулювання переданого моменту в широких межах,

що дає змогу адаптувати роботу трансмісії до конкретних умов руху [5].

Разом з тим застосування фрикційних муфт має і певні обмеження. Основними з них є теплове навантаження та знос фрикційних поверхонь, які виникають при тривалій роботі у режимі часткового ковзання. Тому при проектуванні та виборі фрикційної муфти необхідно враховувати умови експлуатації автомобіля та забезпечувати належний тепловідвід і ресурс роботи муфти [4].

Наведені дані показують, що застосування фрикційних муфт у системах повного приводу дозволяє усунути основні недоліки жорстких схем підключення ведучих мостів. Саме ці муфти створюють можливість реалізації адаптивних систем повного приводу, які поєднують високу прохідність з гарною керованістю та економічністю.

Висновки. Трансмісія є однією з ключових систем вантажного автомобіля, яка значною мірою визначає його прохідність, керованість, паливну економічність і надійність у процесі експлуатації. Особливо важливою є роль трансмісії для повнопривідних вантажних автомобілів, які працюють у складних дорожніх та кліматичних умовах.

У ході аналізу основних типів трансмісій вантажних автомобілів з'ясовано, що механічні трансмісії залишаються найбільш поширеними завдяки простоті конструкції, високому коефіцієнту корисної дії та здатності працювати з великими крутними моментами. Автоматизовані та гідромеханічні трансмісії забезпечують вищий рівень комфорту та плавності роботи, однак характеризуються підвищеною складністю та, у ряді випадків, зниженням паливної економічності, що обмежує їх застосування у важких умовах експлуатації.

Розгляд систем повного приводу показав, що схеми з постійним підключенням ведучих мостів забезпечують високу прохідність, проте супроводжуються підвищеними втратами потужності, зростанням зносу елементів трансмісії та погіршенням керованості при русі по дорогах з твердим покриттям.

Особливу увагу приділено застосуванню фрикційних муфт у системах повного приводу. Встановлено, що багатодискові фрикційні муфти дозволяють реалізувати плавне та кероване підключення ведучих мостів, зменшити ударні навантаження в трансмісії та покращити експлуатаційні характеристики автомобіля.

Отримані результати обґрунтовують доцільність вибору напрямку удосконалення трансмісії повнопривідного вантажного автомобіля, який полягає у застосуванні керованого повного приводу з використанням фрикційних муфт.

Список літератури:

1. Аналіз сучасних конструкцій трансмісій повнопривідних вантажних автомобілів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Автомобіле- та тракторобудування : зб. наук. пр. Харків : НТУ «ХПІ», 2023. № 2. С. 18–26. DOI:10.20998/2078-6840.2023.2.02.
2. Коломицев В. М. Аналіз будови вантажних автомобілів: технічні рішення для підвищення ефективності та надійності. *Grail of Science*. 2025. № 54. URL: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.22.08.2025.063>.
3. Кохан В. Ф. Аналіз розвитку конструкцій важких колісних тактичних автомобілів. *Sustaining the efficiency of information and vibration technologies*. 2023. № 75. URL: <https://doi.org/10.30748/soivt.2023.75.01>.
4. Methodology of determining the basic parameters of all-terrain hybrid vehicles / L. Krainyk, A. Kikhtan, Yu. Habriiel, A. Uzhva. *Agroengineering*. 2023. Vol. 27. URL: <https://doi.org/10.31734/agroengineering2023.27.027>.
5. Kikhtan A. Analysis of existing designs and formation of a hybrid drive scheme for wheeled off-road vehicles. *Agroengineering*. 2024. Vol. 28. URL: <https://doi.org/10.31734/agroengineering2024.28.061>.

Kolomytsev V.M. ANALYSIS OF MODERN TRANSMISSION DESIGNS ALL-WHEEL DRIVE TRUCKS

The article is devoted to the analysis of modern designs of transmissions of all-wheel drive trucks and the assessment of their impact on the main operational indicators of off-road vehicles. The purpose and general structure of the truck transmission are considered, its role in ensuring mobility, controllability, fuel economy and reliability in difficult road and climatic operating conditions is determined. The main requirements for transmissions of all-wheel drive cars are summarized, in particular regarding strength, torque distribution efficiency, high efficiency, versatility and control automation.

A comparative analysis of mechanical, automated and hydromechanical transmissions was carried out, their advantages and limitations when used in difficult operating conditions were determined. Mechanical transmissions have been found to remain the most common due to their simplicity of design and high efficiency, while automated and hydromechanical systems provide increased smoothness of operation, but are characterized by greater complexity and dependence on electronic control systems.

Particular attention is paid to the analysis of all-wheel drive systems with constant connection of drive bridges, forced connection and the use of interaxial differentials. Their main shortcomings are systematized, in particular increased power losses, shock loads and design complexity. It has been proven that existing solutions do not always provide an optimal combination of mobility, economy and controllability, which justifies the need for further improvement of transmissions of all-wheel drive trucks. For all-wheel drive trucks, the design of the transmission is complicated by the need to coordinate the operation of several drive axles. Incorrect distribution of torque or rigid connection of bridges in inappropriate driving conditions can lead to power circulation, increased wear of parts and deterioration of the car's handling.

The obtained results form a scientifically based basis for choosing a promising direction of transmission modernization using controlled all-wheel drive and flexible torque distribution between drive axles.

Keywords: *all-wheel drive truck, transmission, all-wheel drive system, mechanical transmission, automated transmission, torque distribution, mobility, performance indicators.*

Дата першого надходження статті до видання: 09.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 13.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті 11.05.2026