УДК 630*377.4:629.3.027.3

Н. В. Шевченко[1], **П. Р. Онишко**[2]

[1] НЛТУ України, Львів, ORCID: 0000-0002-4004-891X
[2] НЛТУ України, Львів, ORCID: 0009-0002-5867-5230

ПІДВИЩЕННЯ ПЛАВНОСТІ РУХУ ЛІСОТРАНСПОРТУ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОГРЕСИВНИХ СИСТЕМ ПІДРЕСОРЮВАННЯ

Анотація. *Проаналізовано специфіку роботи підвісок лісовозних машин у складних дорожніх умовах і головні причини порушення плавності руху лісовозів та запропоновано заходи щодо її покращення. Розглянуто вплив динамічних навантажень на вузли трансмісії, раму та здоров'я водія. Проведено порівняльний аналіз традиційних ресорних підвісок із прогресивними аналогами. Зіставлено світові тенденції використання підвісок із реаліями та проблемами експлуатації лісотранспортних засобів в Україні. Обґрунтовано застосування активних підвісок як прогресивного напрямку розвитку лісового транспорту, що дозволяє значно покращити характеристики руху, підвищити продуктивність та знизити витрати на експлуатацію.*

Ключові слова: *плавність руху, лісотранспорт, системи підресорювання, динамічні навантаження, пневматична підвіска*

Плавність руху лісовозів є ключовим фактором, що безпосередньо впливає на безпеку транспортування, збереження вантажу, комфорт водія й загальну продуктивність підприємств лісового господарства. Дороги, якими здійснюється перевезення, найчастіше характеризуються низькою якістю покриття, численними поворотами та значними перепадами висоти, що створює труднощі в забезпеченні стабільності руху [1, 2].

Основні напрямки теоретичних та експериментальних досліджень підвісок для лісового транспорту повинні включати аналіз роботи підвіски в різних дорожніх умовах: ями, колії, нерівні поверхні, підйоми та спуски; оцінку впливу підвіски на збереження вантажу; оптимізацію параметрів підвіски для досягнення максимальної ефективності; визначення граничних навантажень. Поряд з лабораторними та натурними випробуваннями під час таких досліджень доцільно використовувати методи математичного моделювання, тобто створювати комп'ютерні моделі підвіски для проведення віртуальних експериментів щодо оптимізації її параметрів [3, 4].

До основних чинників погіршення плавності руху належать незадовільний стан доріг у лісогосподарських зонах: наявність ям, колій, вибоїн та відсутність твердого покриття. Це призводить до появи вібрацій, поштовхів і різких змін швидкості, які негативно впливають на плавність руху. Конструктивні аспекти самого лісовоза також відіграють важливу роль. Зокрема, зношені амортизатори, несправні підшипники коліс, некоректно встановлені шини або перевантаження транспортного засобу значно погіршують його плавність.

Підвищення показників плавності руху лісотранспорту є критично важливим для зменшення динамічних навантажень на вузли машин, збереження лісовозних доріг та зниження втоми водіїв. Для отримання високої плавності руху підвіска має забезпечувати коливання кузова автомобіля з низькою частотою – 1,3…1,9 Гц. Впровадження прогресивних систем підресорювання дозволяє адаптувати характеристики підвіски до змінної ваги вантажу. Ефект від такого впровадження полягатиме у зниженні вібронавантаженості на водія і зменшення його втоми, бо вібрація передається на кабіну та сидіння, зменшення динамічних навантажень на дорожнє полотно на 10-20%, збільшення терміну служби техніки та її продуктивності.

Для поліпшення плавності руху лісовозів, які працюють у важких умовах (перепади навантаження, бездоріжжя), сьогодні використовують кілька ключових технологічних рішень: пневматичні підвіски з електронним керуванням, гідропневматичні підвіски, гумово-металеві підвіски, параболічні ресори, адаптивні амортизатори.

Очікуваний ефект від таких рішень полягає у збільшенні рейсової швидкості на 15-20% за рахунок стабільності ходу, зниженні витрат на ремонт трансмісії та рами завдяки поглинанню до 80% ударних навантажень, зменшенні тиску на опорну поверхню і збереженні лісових доріг.

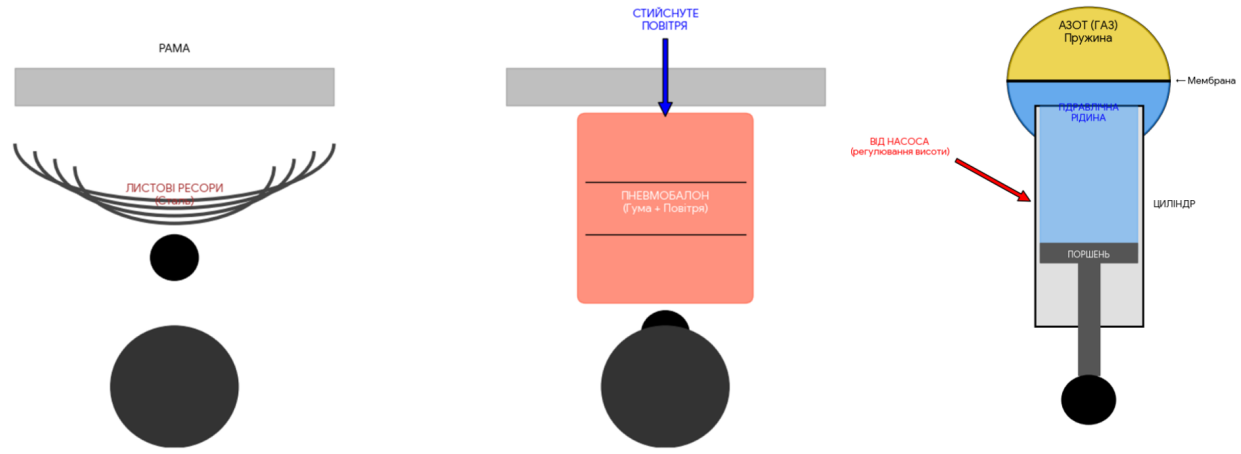
Активні підвіски, зокрема гідропневматичні, гідравлічні та пневматичні, є сучасними технологічними рішеннями, які суттєво підвищують експлуатаційні характеристики транспортних засобів. Вони забезпечують покращену плавність ходу, високу керованість і стабільність на дорозі. Для лісового транспорту, який, зокрема, функціонує в умовах складного бездоріжжя, такі системи мають особливе значення.

Для лісовозів вибір системи підресорювання визначає баланс між вантажністю та збереженням ресурсу техніки. Нижче наведено технічне порівняння трьох основних типів підвісок (див. табл.1).

Таблиця 1 – Технічне порівняння систем підресорювання

Характеристика	Ресорна (традиційна)	Пневматична	Гідропневматична (прогресивна)
Плавність ходу	Низька (через тертя між листами)	Висока (поглинає дрібні вібрації)	Найвища (зниження вібрацій до 60%)
Характеристика жорсткості	Переважно лінійна	Прогресивна (залежить від тиску)	Різко прогресивна (ідеальна для ударних навантажень)
Регулювання кліренсу	Відсутнє	Автоматичне (підтримка рівня)	Можливість зміни висоти під конкретні умови
Надійність в лісі	Висока (проста конструкція)	Середня (ризик пошкодження балона)	Висока (захищені гідроциліндри)
Вартість (встановлення)	Низька	Середня	Висока (вимагає складної гідравліки)

Аналіз конструктивних схем найпоширеніших типів підвісок (рис. 1) дозволяє обґрунтувати їхнє ефективне використання в конкретних експлуатаційних умовах, шляхом урахування переваг і недоліків.



а *б* *в*

Рисунок 1 – Типи конструкцій підвісок: *а* – реорна, *б* – пневмопідвіска, *в* – гідропневматична

У ресорній підвісці (рис.1 *а*) пакет сталевих листів вигинається під вагою. Вона максимально проста, дешева, надзвичайно міцна, витримує колосальні перевантаження, не боїться бруду, гілок чи пеньків, які можуть пошкодити пневматику, але жорстка, особливо коли машина порожня, важка і не регулюється по висоті.

У пневмопідвісці замість пружин – гумові балони (подушки), в які насос накачує повітря. Вона набагато м'якша за ресори, можна піднімати чи опускати кузов для розвантаження. Також перевагою пневмопідвіски в порівнянні з ресорною є її менша вага. Однак, повітря стискається не так прогресивно, як газ у гідропневматиці, а гумові балони можуть протертися або розірватися. У пневматиці (рис.1 *б*) повітря знаходиться безпосередньо в балоні, а у гідропневматиці – колесо штовхає рідину, а вона вже тисне на газ у залізній сфері. Це робить систему набагато потужнішою та витривалішою для надважких вантажівок.

Щодо гідропневматичної підвіски (рис. 1 *в*) , то у жовтій зоні (азот) є газ під високим тиском. Коли колесо підстрибує на ямі, то поршень тисне на рідину, а та стискає цей газ. Газ працює як м'яка пружина. У синій зоні (рідина) є спеціальна олива. Вона не стискається, а лише передає тиск від колеса до газу. Міцна гумова перегородка (мембрана) потрібна, щоб газ не розчинився в оливі. Червоною стрілкою позначено вхід для оливи від насоса. Якщо додати більше рідини, то машина підніметься (кліренс зросте),а якщо злити – опуститься. Завдяки такій конструкції вантажівка не підстрибує на порожніх рейсах і не просідає під великою вагою.

На сучасні лісовози найчастіше встановлюють ресорну підвіску або комбіновані рішення, оскільки робота в лісі – це екстремальні умови бездоріжжя, де надійність важливіша за комфорт. Такі бренди як Volvo чи Scania для своїх "лісових" серій пропонують підсилені багатолистові ресори як стандарт, але дають можливість встановити пневматику на задні осі для тих, хто транспортує деревину дорогами загального призначення (рис. 2). Під час такої модернізації обов’язково потрібно інтегрувати пневмопідвіску з бортовою системою машини, щоб забезпечити автоматичне налаштування жорсткості залежно від ваги вантажу.

а *б*

Рисунок 2 – Заміна ресорної підвіски на пневмопідвіску: *а* - частковий демонтаж старої ресорної підвіски; *б* - встановлення пневмоподушок

Статистика використання підвісок на лісовозах суттєво різниться залежно від регіону, дорожніх умов та законодавчих норм щодо ваги. Загалом у світі домінують пасивні системи (ресори та балансири), які займають близько 48.9% ринку важкої техніки [5]. Популярність підвісок за регіонами зведено у таблицю 2.

На ринку комерційного транспорту сегмент сталевих пружин та ресор утримує лідерство завдяки надійності в агресивних середовищах. Багатолистова ресорна підвіска – це найпоширеніший варіант на старих ЗІЛ, Урал, КрАЗ та вживаних європейських лісовозах

MAN, Mercedes-Benz, Volvo. Майже всі лісовози, що експлуатуються в Карпатському регіоні, мають балансирний візок, балансир забезпечує тягу навіть тоді, коли одне з коліс заїжджає на високий камінь. Посилена параболічна ресора зустрічається на більш сучасних іноземних машинах. Вона легша за звичайну ресору, що дозволяє везти трохи більше корисного вантажу, не порушуючи габаритно-вагові норми на дорогах загального користування.

Таблиця 2 – Популярність підвісок за регіонами

Регіон	Основний тип підвіски	Частка ринку / особливості	Причина вибору
Північна Америка (США, Канада)	Ресорна та балансирна	Понад 40% світового ринку важких підвісок	Важкі умови експлуатації, велика вага вантажу
Європа (західна та центральна)	Пневматична	Близько 30% ринку	Високі вимоги до збереження дорожнього покриття та комфорту на трасах
Скандинавія (Швеція, Фінляндія)	Комбінована (ресори + пневмо)	Вага автопоїздів до 60-76 тонн	Поєднання міцності для лісу та регулювання висоти для траси
Азійсько-Тихоокеанський регіон	Ресорна (механічна)	Найбільша частка ринку –38.9%	Пріоритет на низьку вартість та простоту обслуговування

Західні регіони України (Карпати та Прикарпаття) мають свою специфіку: круті підйоми, кам’янистий ґрунт, вузькі гірські дороги та часте бездоріжжя. Через це в цьому регіоні абсолютну перевагу має ресорна підвіска, а саме її посилені варіанти.

У Карпатах майже не використовують пневматику, бо є ризик пошкодження, скручування рами, перепад температур тощо. Гостре каміння, гілки та пеньки на лісосіках можуть миттєво розірвати повітряну "подушку". Ремонт пневматики в умовах лісу неможливий. Пневмопідвіска гірше стабілізує високий вантаж (сортименти) при сильних кренах на гірських серпантинах. Ресори жорстко тримають кузов, запобігаючи перекиданню. Конденсат у пневмосистемі взимку може замерзнути, що заблокує гальма або роботу підвіски. Механічні ресори працюють за будь-якої погоди.

Зараз у лісових господарствах України спостерігається оновлення автопарку. Державні підприємства розглядають варіанти заміни застарілої техніки на сучасні європейські аналоги. Найпопулярніші марки лісовозів (сортиментовозів) це − Scania, MAN, Mercedes-Benz, Volvo. Лідером на ринку нових вантажівок в Україні є Scania. Лісівники цінують серію Scania XT, яка спеціально розроблена для важких умов бездоріжжя та має посилену ресорну підвіску. MAN займає друге місце за популярністю. Моделі MAN TGS часто використовуються як база для лісовозів завдяки високій прохідності та надійності в гірських умовах. Моделі Mercedes-Benz ефективні для роботи на складних лісових ділянках завдяки потужним двигунам та витривалим шасі. Моделі Volvo популярні завдяки системі Volvo T-Ride (балансирна ресорна підвіска), яка ідеально підходить для Карпат.

Хоча йде оновлення автопарку, такі моделі як КрАЗ-64372 або КрАЗ-6233 все ще залишаються в строю в багатьох лісгоспах через їхню високу прохідність. Тому підсумовуючи наш огляд, можна зробити чотири ключові висновки, які допоможуть зрозуміти логіку вибору техніки для лісових господарств:

- вибір підвіски − це завжди компроміс між комфортом (гідропневматика / пневматика) та виживанням техніки (ресори). Те, що добре для магістральної фури, вийде з ладу в лісі за один рейс.

- у складних регіонах, як-от наші Карпати, панують механічні системи (ресори та балансири). Вони не бояться проколів, бруду та перепадів температур. Це вибір тих, кому важлива впевненість, що машина вийде з лісу своїм ходом.
- пневматика та гідравліка ідеальні для доріг загального користування. Вони бережуть дороги, здоров'я водія та дозволяють регулювати висоту кузова. Але вони вимагають дорогого сервісу та чистоти.
- вектор розвитку України − поступовий перехід на європейську міцність, замість ремонту застарілої техніки бізнес та держава інвестуватимуть у ефективніші та надійніші західні аналоги. Спостерігається відхід від старих КрАЗів до сучасних Scania XT чи Volvo FMX. Це означає, що лісовози стають технологічнішими: вони все ще на ресорах, але ці ресори вже легші, міцніші й працюють у парі з розумною електронікою.

Підвищення показників плавності руху лісових машин є комплексним завданням. В умовах лісосіки механічні ресори залишаються найбільш життєздатною системою через стійкість до механічних пошкоджень. Карпатський ландшафт зумовлює використання балансирних систем для кращого зчеплення на нерівностях. Орієнтація на Scania, Volvo та MAN підтверджує запит на високу вантажність у поєднанні з витривалим шасі. Пневматика виправдана лише на доглянутих дорогах, тоді як у лісі вона призводить до зростання витрат на позапланові ремонти. Застосування активної підвіски є прогресивним напрямком розвитку лісового транспорту: вона дозволяє значно покращити характеристики руху, підвищити продуктивність та знизити витрати на експлуатацію. З розвитком технологій та збільшенням обсягів виробництва, спеціалізованих сервісних центрів, ціна на активні підвіски буде знижуватися, що зробить їх доступнішими для широкого кола споживачів. В майбутньому активні підвіски стануть невід'ємною частиною сучасних лісотранспортних машин.

Використані джерела

1. Библюк Н. І. Лісотранспортні засоби: конструкція і розрахунок. Частина 1. Загальне компонування. Спеціальне обладнання. Навчальний посібник / [Библюк Н. І., Герис М. І., Бойко М. М., Щупак А. Л., Шевченко Н. В.] –Львів: РВВ НЛТУ України, 2014. – 400 с.

2. Шевченко Н. В. Вибір раціональних значень параметрів лісовозного автомобіля для підвищення плавності його руху та зменшення негативного впливу на довкілля // збірник тез міжнар. наук. конф. «Лісова інженерія – 2020: техніка, технологія і довкілля», НЛТУ України, Львів, Україна, 28 – 30 травня 2020. – С. 48-49.

3. Nestor Byblyuk, Natalia Shevchenko Andrii Freydun. Design parameters effect on the intensity of log truck heave vibrations. Polska Akademia Umiejetnosci Prace Komisji Nauk Rolniczych, Lesnych I Weterynaryjnych. – Krakow, 2013.– NR 18.–305-312 s.

4. Білик Б.В., Шевченко Н.В. Щодо системи підресорювання двовісних балансирних лісовозних розпусків. // Наукові праці Лісівничої акад. наук України : зб. наук. праць. № 11 (2013). – С. 197-201.

5. https://www.strategicmarketresearch.com/market-report/truck-suspension-system-market