

УДК 629.3.017: 629.35

А. П. Поляков, д. т. н., проф.;**М. С. Гречанюк, асп.**

АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ТА КЕРОВАНОСТІ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ З НАПІВПРИЧЕПАМИ

Проведено аналіз шляхів підвищення стійкості та керованості вантажних автомобілів з напівпричепами під час руху по дорозі та визначено найефективніші методи забезпечення належного рівня показників стійкості та керованості.

Вступ

Вантажні автомобілі з напівпричепами є ефективним засобом транспортування вантажу та відіграють важливу роль в економіці країни.

За 2009 рік автомобільним транспортом перевезено 140 млн т вантажів, що становило 20 % від загальної кількості обсягів вантажних перевезень [1]. Починаючи з 2003 року, спостерігається тенденція росту обсягів автомобільних вантажних перевезень.

Інтенсивна експлуатація вантажних автомобілів з напівпричепами значно впливає на безпеку дорожнього руху через значну імовірність виникнення аварій за участю цих автомобілів.

В Україні в 2009 році кількість дорожньо-транспортних пригод склала близько 37 тисяч, кількість загиблих у дорожньо-транспортних пригодах — 5,3 тисячі чоловік, а травмованих — 45 тисяч [2]. І серед цієї статистики аварії, пов'язані із перекиданням вантажних автомобілів з напівпричепами через втрату їх стійкості та керованості, призводять до більших збитків і травм, ніж аварії за участю автомобілів інших видів.

Стійкістю автомобіля називають сукупність його властивостей, що характеризують його здатність зберігати заданий напрямок руху у разі впливу зовнішнього середовища, що прагнуть відхилити автомобіль від цього напрямку (перекидання, занос і ковзання). Стійкість автомобіля залежить від його конструкції (розташування центра маси, колії, бази) і бічної еластичності шин.

Властивість автомобіля зберігати прямолінійний напрямок руху, а також напрямок руху, заданий рульовим керуванням, називають керованістю. На керованість автомобіля впливають: конструкція рульового механізму й рульового привода, розташування центра маси автомобіля й конструкція підвіски й шин (бічна еластичність шин).

За результатами американських досліджень основними причинами, які можуть спричинити втрату керованості і стійкості вантажних автомобілів з напівпричепами, є:

- несправності в рульовому керуванні;
- неоднакове регулювання колісних гальм;
- люфт у підвісці;
- невідповідність вимогам індексу стійкості [3].

Попередні дослідження, проведені в провідних європейських технічних університетах, визначили три головні причини перекидання вантажних автомобілів з напівпричепами:

- раптове відхилення від курсу, часто поєднане з інтенсивним гальмуванням і великою початковою швидкістю;
- надмірна швидкість під час проходження повороту;
- переміщення вантажу [4].

Зменшення негативного впливу від втрати стійкості та керованості вантажних автомобілів з напівпричепами і запобігання аварійних ситуацій на дорогах є основною проблемою безпеки руху автотранспорту.

Вивчення проблеми забезпечення стійкості та керованості вантажних автомобілів дозволяє розробляти нові та вдосконалювати відомі методи забезпечення стійкості та керованості вантажних

автомобілів з напівпричепами.

Комплексним фактором впливу як на стійкість, так і на керованість вантажних автомобілів з напівпричепами є співвідношення між центром маси (висота) і шириною колії (ширина). Вузька колія й високий центр маси роблять його нестійким і погіршують керування, особливо в критичній ситуації. Особливості руху в критичній ситуації можуть привести до того, що такий автомобіль втрачає зчеплення з дорогою і, внаслідок цього, керованість та стійкість знижуються.

Аналіз шляхів підвищення стійкості та керованості вантажних автомобілів з напівпричепами

На поперечну стійкість вантажних автомобілів з напівпричепами впливають різні конструктивні й експлуатаційні фактори. До них належать:

- маса вантажного автомобіля з напівпричепом;
- висота центра маси вантажного автомобіля з напівпричепом;
- база та ширина колії вантажного автомобіля з напівпричепом;
- розмір шин, їх конструкція і стан;
- радіуси кривизни й стан дорожнього покриття;
- конструкція і стан гальм;
- швидкість і напрям руху;
- вміння управляти вантажним автомобілем з напівпричепом та спосіб гальмування;
- швидкість повороту керованих коліс на повороті;
- крен кузова вантажного автомобіля з напівпричепом.

Крім того на поперечну стійкість вантажних автомобілів з напівпричепами істотний вплив здійснює блокування коліс. Одночасне блокування всіх коліс вантажних автомобілів з напівпричепами може відбутися лише на дорогах із значенням коефіцієнта зчеплення в межах 0,40...0,45. У разі гальмування вантажних автомобілів з напівпричепами на дорогах з коефіцієнтом зчеплення нижче 0,40 — першими блокуються задні колеса, а на дорогах із коефіцієнтом зчеплення вище 0,45 — передні колеса.

Втрата стійкості, в основному поздовжньої, настає за надмірного зростання буксування ведучих коліс, причому під буксуванням коліс розуміють різницю числа обертів ведучих коліс під навантаженням і без навантаження під час проходження того самого шляху.

Керованість вантажних автомобілів з напівпричепами під час руху залежить від таких факторів:

- стабілізації керованих коліс, а саме збереження нейтрального положення керованих коліс й автоматичного повернення в нього під дією нерівностей дорожнього покриття;
- конструктивних особливостей шини;
- відведення шин;
- маневреності автомобіля;
- технічного стану ходової частини й рульового керування автомобіля;
- узгодження швидкості автомобіля з кутовою швидкістю повертання керованих коліс (кваліфікації водія).

У разі порушення стабілізації керованих коліс, збільшення зазорів у підшипниках маточин керованих коліс і шкворневих з'єднаннях, а також через неправильне регулювання рульового керування ускладнюється керування вантажним автомобілем з напівпричепом, що приводить до збільшення зношування шин і зниження паливної економічності вантажного автомобіля з напівпричепом та погіршення безпеки руху.

Зі зменшенням тиску повітря в одній із шин коліс вантажних автомобілів з напівпричепами збільшується її опір коченню й знижується бічна жорсткість шини. У зв'язку з цим вантажні автомобілі з напівпричепами під час руху постійно відхиляються у бік шини з меншим тиском повітря.

Для підвищення стійкості та керованості вантажних автомобілів з напівпричепами дослідження проводяться за такими напрямками:

- удосконалення експлуатаційних та конструктивних параметрів;
- удосконалення методів оцінки стійкості та керованості;
- моделювання руху вантажних автомобілів з напівпричепами в складних дорожніх ситуаціях;
- розробка систем керування динамікою руху вантажних автомобілів з напівпричепами.

Вдосконаленню конструктивних параметрів вантажних автомобілів з напівпричепами та наданню рекомендацій з покращення експлуатаційних параметрів приділяється увага в роботах та-

ких вітчизняних науковців як Стельмашука В. В., Крестьянполь О. А. та Кузнецова Р. М. Що ж до світового досвіду, то в цьому напрямку працювали Шарп (Sharp) і Пен (Pan), Ю (Yu) та Кролла (Crolla), Кусахара (Kusahara).

Зокрема, в роботах Стельмашука В. В. був кількісно оцінений вплив різних експлуатаційних і конструктивних параметрів на керованість і стійкість руху триланкового автопоїзда та визначено оптимальні значення цих параметрів і раціональний склад триланкових автопоїздів [5].

Крестьянполь О. А. у своїх роботах розглядала маневреність та стійкість руху автопоїзда з віссю, що самовстановлюється. Нею була запропонована методика вибору і обґрунтування масово-геометричних та конструктивних параметрів автопоїзда із віссю, що самовстановлюється за критеріями маневреності та стійкості прямолінійного руху [6].

Визначення граничної швидкості автопоїзда, за якої ще забезпечується стійкість в процесі гальмування, та аналіз впливу компоновальної схеми триланкового сидельно-причіпного автопоїзда, конструктивних та експлуатаційних факторів на величину цієї швидкості здійснено в роботах Кузнецова Р. М. [7].

Шарп (Sharp) і Пен (Pan) розглядали електрогідрравлічне приведення в дію стабілізатора поперечної стійкості, обладнаного ротаційними приводами для меншого бічного прискорення, щоб скоротити реакцію крену кузова тягача. Розроблена ними математична модель показала істотне зниження в реакції крену кузова на керування напрямком руху [3].

Ю (Yu) та Кролла (Crolla) розробили саморегульований алгоритм керування активною підвіскою вантажного автомобіля з напівпричепом на основі системи лінійних і квадратичних одиниць Гаусса (LQG). Їхні пропозиції повинні були мінімізувати прискорення вантажного автомобіля з напівпричепом й зберегти робочу область підвіски й динамічне відхилення шин в межах необхідної амплітуди для реальної амплітуди вхідних умов (дорожні нерівності, швидкість вантажного автомобіля з напівпричепом) і параметрів вантажного автомобіля з напівпричепом (розглядалися різні варіанти маси кузова й жорсткості шин) [8].

Кусахара (Kusahara) досліджував активний стабілізатор поперечної стійкості з метою зменшення кута крену вантажних автомобілів з напівпричепами. Випробування, проведені на експериментальному вантажному автомобілі з напівпричепом, під час проходження повороту показали зниження кута крену на одну третю частину від початкового кута. На думку водіїв, які брали участь у проведенні експерименту, було також відчутне істотне поліпшення в керованості транспортного засобу та його стійкості [3].

У розглянутих вище роботах описано вирішення конкретної прикладної задачі і тому говорити про їх недоліки, виконуючи такий аналіз, є недоцільним. Проте існує можливість виділити нерозглянуті шляхи удосконалення експлуатаційних та конструктивних параметрів для вантажних автомобілів з напівпричепом, а саме дослідження залежності кута крену платформи напівпричепи в залежності від навантаження та розподілу вантажу та вплив кута крену платформи напівпричепи на показники стійкості та керованості вантажних автомобілів з напівпричепами.

Вітчизняні роботи з удосконалення методів оцінки стійкості та керованості виконувались Тімковим О. М., який розробив методику визначення критичної швидкості, за якої втрачається стійкість, та граничної швидкості початку коливальних рухів для автопоїзда з наближеними осями причепа [9].

Впровадженням методів керування динамікою вантажного автомобіля з напівпричепом з метою поліпшення характеристик руху займається Кембриджська Асоціація Динаміки транспортних Засобів (CVDC) та Рада Машинобудування і Дослідження Природничих Наук (EPSRC) [10].

В напрямку удосконалення методів оцінки стійкості та керованості транспортних засобів не розглядалося питання розробки методу оцінки стійкості та керованості для вантажних автомобілів з напівпричепами за кутом крену платформи напівпричепи.

Моделюванню руху вантажних автомобілів з напівпричепами в складних дорожніх ситуаціях приділено увагу у роботах Мурованого І. С., який створив математичну модель, розрахунково-теоретичний метод оцінки маневреності і стійкості руху триланкових причіпних автопоїздів, методику і програму для розрахунків їх оціночних показників і характеристик [11].

В світі ж відомими роботами з моделювання руху вантажних автомобілів з напівпричепами в складних дорожніх ситуаціях є праці Кеча (Cech), Дорлінга (Dorling), Семпсона (Sampson) і Кебона (Sebon).

Кеч (Cech) досліджував перекидання вантажного автомобіля зі статичним і динамічним контролем підвіски для вертикальних і бічних вхідних реакцій. Він порівнював пасивні та активні підвіски, які самовирівнюються, і встановив, що управління підвіскою погіршує статичну характери-

стику вертикальної реакції, але поліпшує характеристику бічної реакції. Інакше кажучи, запобігти перекиданню транспортного засобу, використовуючи активну підвіску, можна лише за умови недостатніх характеристик руху (низька швидкість, нерівність дорожнього покриття) [10].

Дорлінг (Dorling) розробив модель крену напівгусеничного автомобіля з параметрами й специфікацією від вантажного автомобіля, і де вхідними параметрами були нерівності дорожнього покриття і динамічні характеристики шини, які викликали перерозподіл бічного навантаження. Розроблена модель відрізнялась простотою розрахунків (необхідно виміряти лише два параметри вантажного автомобіля: відхилення підвіски під час перекидання та бічне прискорення) [12].

Семпсон (Sampson) і Кебон (Sebon) займалися розробкою моделі перекидання для різних комбінацій зчленованих транспортних засобів. Вони розробили систему керування сталого режиму крену (LQR) для гнучкої комбінації тягач/причіп, що дозволяє скоротити, в порівнянні з пасивною підвіскою, для ряду маневрів максимальний перерозподіл навантаження [4, 10].

В напрямку моделювання руху автомобілів відсутня модель крену вантажних автомобілів з напівпричепами, де вхідним параметром для розрахунків був би кут крену платформи напівпричепа.

Розробкою систем керування динамікою руху для вантажних автомобілів займаються лише іноземні дослідники, найвідомішими серед яких є Палковіч (Palkovics), Лін (Lin), Данвуд (Dunwoody) та Фройс (Froese), Вільямс (Williams) та Хеддед (Haddad), компанія WABCO.

Палковіч (Palkovics) розглядав виявлення й запобігання перекидання вантажних автомобілів, використовуючи наявні датчики й приводи електронної гальмової системи (EBS). Вони показали, що EBS дає гарну платформу для виконання систем як, наприклад, керування стійкістю руху (DSC) і ROP® (Запобігання перекиданню) і не вимагає ніяких додаткових датчиків, а лише зміни в програмному забезпеченні. Ніяких кількісних результатів отримано не було [3].

Крім того, Лін (Lin) досліджував активну систему запобігання перекидання для вантажного автомобіля та порівнював бічне прискорення й реакцію лінійного квадратичного регулятора (LQR). Модель транспортного засобу мала реальну систему підвіски, яка складається із стабілізаторів поперечної стійкості разом з гідравлічним приводом з обмеженою пропускну здатністю. Дані, отримані під час дорожніх випробовувань, були оброблені та об'єднані з даними, отриманими під час зміни смуги руху для моделювання повного спектра характеристик кута повороту для «найгіршого випадку». Ці результати були використані для вибору найкращої стратегії керування перекиданням транспортного засобу. Споживана потужність привода й пропускну здатність привода одного вантажного автомобіля з напівпричепом були оцінені у 17 kW і 6 Hz відповідно. Поріг статичного перекидання зріс до 66 % і середньоквадратичний перерозподіл навантаження зменшився до 34 %. Було визначено, що стратегія запобігання перекиданню транспортного засобу на основі даних бічного прискорення є кращою з причини простоти технічного забезпечення та високої швидкості виконання [13].

Велика увага приділяється розробкам та впровадженням автоматизованих систем управління динамікою руху автопоїздів шляхом активного використання сил та моментів гальмівної і протибуксовочної систем в режимі поздовжнього та поперечного руху, які дають позитивний вплив на стійкість та керованість транспортного засобу в цілому, а також створенню механізмів активного запобігання складанню та боковому перекиданню вантажного автомобіля з напівпричепом. Провідною в цій області є компанія Westinghouse Air Braking Company (WABCO) — лідер на ринку систем безпеки та контролю руху. Найвідомішими є гальмівні системи ABS та EBS, які запобігають блокуванню коліс транспортного засобу під час гальмування (в основному на дорогах із низьким коефіцієнтом зчеплення), зберігаючи сили бокового відведення коліс для забезпечення стійкості та керованості транспортного засобу в межах фізичних можливостей, одночасно досягаючи оптимального зчеплення шин з дорожнім покриттям. Крім того, електронна система керування пневмодвіскою (ECAS) дозволяє змінювати тиск у пневмобалонах залежно від завантаження вантажного автомобіля з напівпричепом, тим самим поліпшуючи ступінь передачі гальмового зусилля дорожньому полотну.

Данвуд (Dunwoody) та Фройс (Froese) вивчали активний контроль крену напівпричепа під час проходження повороту, за умов збільшення порогу перекидання напівпричепа. Їхня система активного контролю перекидання складалася з модифікованого нахиленого п'ятого колеса й гідравлічних приводів і повністю перебувала в межах напівпричепа. Обчислення показали підвищення порогу перекидання до 30 % [14].

Вільямс (Williams) та Хеддед (Haddad) проводили дослідження в напрямку розвитку нелінійного контролера для поліпшення динаміки керування транспортним засобом шляхом контролю та

зміни розповсюдження перекидального моменту між передніми й задніми осями вантажного автомобіля з напівприцепом [15].

Загальною рисою для вищезгаданих систем є їх значна вартість. Проте, починаючи з 2001 року, нові транспортні засоби вже обладнуються такими системами за вимогами замовників. Згідно з експертними оцінками парк вантажних автомобілів з напівпричепами в Україні з роком випуску до 2000 року складає близько 60 %, тому постає питання забезпечення достатнього рівня стійкості та керованості цих автомобілів за допомогою альтернативних систем керування динамікою руху з меншою вартістю.

Визначення найефективніших методів забезпечення належного рівня показників стійкості та керованості вантажних автомобілів з напівпричепами

Стійкість та керованість є одними з найважливіших експлуатаційних властивостей автомобіля. Збереження стійкості та керованості автомобіля дозволяє інтенсифікувати транспортні перевезення та забезпечити безпеку руху автотранспортних засобів.

Сучасні електронні системи допомагають водіям автотранспортних засобів об'єктивно оцінити ситуацію на дорозі та прийняти правильне рішення для забезпечення стійкості та керованості вантажних автомобілів з напівпричепами. Але їх характерною рисою є значна вартість та складність конструкції, що ускладнює обладнання ними вантажних автомобілів з напівпричепами, які вже перебувають в експлуатації більше 10 років.

Тому вирішено проводити дослідження, з підвищення показників стійкості та керованості вантажних автомобілів з напівпричепами, які перебувають в експлуатації більше 10 років за напрямками:

- вивчення впливу кута крену платформи напівпричепа на показники стійкості та керованості вантажних автомобілів з напівпричепами;
- удосконалення методу підвищення оцінки стійкості та керованості для вантажних автомобілів з напівпричепами за кутом крену платформи напівпричепа;
- розробки математичної моделі руху вантажного автомобіля з напівприцепом, де вхідним параметром для розрахунків був би кут крену платформи напівпричепа;
- розробки системи керування динамікою руху вантажного автомобіля з напівприцепом, доступної для застосування на автомобілях віком більше 10 років.

Вивчення впливу кута крену платформи напівпричепа на показники стійкості та керованості вантажних автомобілів з напівпричепами дозволяє отримати експериментальні дані для розробки методів оцінки та підвищення показників стійкості та керованості вантажних автомобілів з напівпричепами.

Необхідність удосконалення методу підвищення оцінки стійкості та керованості для вантажних автомобілів з напівпричепами за кутом крену платформи напівпричепа зумовлена підвищеними вимогами до оцінки зазначених показників, що дозволяє робити висновки про їх кількісне значення з більшим рівнем достовірності.

Розробка математичної моделі руху вантажного автомобіля з напівприцепом, де вхідним параметром для розрахунків був би кут крену платформи напівпричепа, дозволяє проводити моделювання поведінки вантажного автомобіля в різних дорожніх ситуаціях.

Розробка системи керування динамікою руху вантажного автомобіля з напівприцепом, доступної для застосування на автомобілях віком більше 10 років, необхідна для практичної реалізації розробленого методу підвищення показників стійкості та керованості вантажних автомобілів з напівпричепами.

Висновки

Таким чином, на підставі аналізу шляхів підвищення стійкості та керованості вантажних автомобілів з напівпричепами визначено заходи, які на даний час є найдоцільнішими та можливими для реалізації на вантажних автомобілях з напівпричепами, що експлуатуються на території України.

Для дослідження ефективності кожного шляху підвищення стійкості та керованості вантажних автомобілів з напівпричепами необхідно розробити методику їх реалізації та провести експериментальне дослідження, що є напрямком подальших досліджень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Статистична інформація [Електронний ресурс] : Транспорт і зв'язок — Режим доступу до ресурсу : <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
2. За 2009 год количество ДТП в Украине сократилось на 27,8 % [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу : — <http://operativno.com.ua/Auto/2093>.
3. Development of Active Anti-Roll Control for Heavy Vehicles: First Year Report Submitted to the University of Cambridge/ Arnaud J. P. Miede. Cambridge University Engineering Department, September 13, 2000. — 80 p.
4. Sampson, D. J. M. and Cebon, D., An investigation of roll control system design for articulated heavy vehicles, Proc. 4th International Symposium on Advanced Vehicle Control :— Nagoya, Japan, 1998. — P. 311—316
5. Стельмащук В. В. Поліпшення показників керованості та стійкості триланкових автопоїздів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / В. В. Стельмащук. Нац. трансп. ун-т. — К., 2005. — 18 с.
6. Крестьянполь О. А. Маневреність та стійкість руху автопоїзда із самовстановлювальною віссю напівпричепа: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / О. А. Крестьянполь. Укр. трансп. ун-т. — К., 1999. — 18 с.
7. Кузнецов Р. М. Покращення показників стійкості триланкових автопоїздів у граничних режимах руху : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / Р. М. Кузнецов. Нац. трансп. ун-т. — К., 2007. — 20 с.
8. Yu, F. and Crolla, D. A., An optimal self-tuning controller for an active suspension, Vehicle System Dynamics, 1998. vol. 29. — P. 51—65,
9. Тімков О. М. Поліпшення показників маневреності та стійкості автопоїздів з наближеними осями причепа: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / О. М. Тімков. Нац. трансп. ун-т. — К., 2005. — 20 с.
10. Sampson, D. J. M., Active roll control of articulated heavy vehicles, PhD Thesis, University of Cambridge, UK, September 2000.
11. Мурований І. С. Поліпшення показників маневреності та стійкості руху триланкових причіпних автопоїздів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / І. С. Мурований. Нац. трансп. ун-т. — К., 2008. — 20 с.
12. Dorling, R. J., Smith, M. C. and Cebon, D., Achievable dynamic response of active suspensions in bounce and roll. IFAC Workshop on Advances in Automotive Control, pp. 67—74, Ascona, Switzerland, 1995.
13. Lin, R. R., Cebon, D., and Cole, D. J. Optimal roll control of a single-unit lorry. Proc. InstnMech. Engrs, part D, J., 210(1), 1996. pp. 45—55.
14. Dunwoody, A. B. and Froese, S. Active roll control of a semi-trailer. SAE Trans., 1993. — P. 999—1004.
15. Williams, D. E. and Haddad, W. M., Nonlinear control of roll moment distribution to influence vehicle yaw characteristics, // IEEE Transactions on Control Systems Technology. — 1995. — Vol. 3, No. 1. — P. 110—116.

Рекомендована кафедрою автомобілів та транспортного менеджменту

Надійшла до редакції 27.04.10
Рекомендована до друку 2.06.10

Поляков Андрій Павлович — професор, **Гречанюк Микола Сергійович** — аспірант.

Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет