

Сахно Володимир Прохорович, д.т.н., професор, Національний транспортний університет, svp_40@ukr.net

Поляков Віктор Михайлович, к.т.н., доцент, Національний транспортний університет, poljakov_2006@ukr.net

Шарай Світлана Михайлівна, к.т.н., доцент, Національний транспортний університет, svetasharai@gmail.com

Човча Ірина Василівна, аспірантка, Національний транспортний університет, 0980478368@ukr.net

ДО ПОРІВНЯЛЬНОЇ ОЦІНКИ МЕТРОБУСІВ РІЗНИХ КОМПОНУВАЛЬНИХ СХЕМ

Безпечні системи громадського транспорту все більше розглядаються як важливий засіб безпечного підвищення мобільності населення, особливо в міських районах, які страждають від зростаючих транспортних заторів. У багатьох містах з високими доходами особливо акцентується політика скорочення використання особистого автомобільного транспорту за допомогою інвестицій в розвиток мереж громадського транспорту. Інвестиції в безпечний громадський транспорт розглядаються також як механізм, що стимулює зростання фізичної активності і, отже, сприяє зміцненню здоров'я населення.

Метробус або нова система автобусного руху «Швидкісний автобусний транспорт» (Bus Rapid Transport, BRT) є результатом розвитку мережі автобусного суспільного транспорту. В порівнянні з метро цей проект має певні явні переваги: менша вартість створення мережі, менша вартість рухомого складу, мобільність та ін.

Зручність, безпека і покращена організація дорожнього руху – це далеко не все, що зможе дати пасажиром система швидкісного автобусного транспорту. У цій системі пасажирські швидкісні автобуси пересуваються по спеціально виділених смугах. Вони відокремлені від проїжджої частини і обладнані закритими пасажирськими станціями з платформами на одному рівні і підземними переходами.

Рухомий склад, що використовується в системі BRT, двох видів: перший - класичний, дволанковий метробус з двигуном, що працює як на дизельному, так і на газовому паливі; другий варіант - триланковий метробус нового покоління з гібридним електро-газовим двигуном. Ці два варіанти притаманні зчленованим автобусам, 18-ти і 24-х метрової довжини.

Поряд з незаперечними перевагами триланкових зчленованих автобусів і тролейбусів їм притаманні і недоліки – гірші маневреність і стійкість руху у порівнянні з дволанковими. Крім того, ефективність експлуатації таких машин тісно пов'язана з пасажиропотоком, який протягом дня може змінюватися в рази. Тому перспективним може стати автопоїзд у складі двох (або трьох) автобусів чи тролейбусів, що працюють у зчіпці, пасажиромісткість яких аналогічна зчленованим автобусам і тролейбусам. У години пік працює

автобусний поїзд, а у міжпіковий період – кожен автобус окремо (можлива стоянка одного автобуса на виділеному майданчику).

Ще у 1993 р. інститутом «ДержавтотрансНДІпроект» разом з Київським автомобільно-дорожнім інститутом була розроблена конструкція автопоїзда, якій складався з двох автобусів ЛАЗ-695, що працювали в зчипці. Дослідна експлуатація такого автопоїзда на одному з маршрутів м. Києва показала його житєздатність. Проте, поява у м. Києві у цей же час шарнірно-зчленованих автобусів Ikarus-180 стала причиною припинення їх експлуатації. Однак, такі причіпні автопоїзди можуть знайти своє застосування в системі BRT.

Особливістю проектування функціональних систем, що забезпечують маневреність та стійкість автопоїздів і метробусів (у подальшому автотранспортних засобів - АТЗ), є паралельні процеси їх конструювання, оптимізації і моделювання динаміки транспортного засобу в цілому при багатокритерійних інколи суперечливих задач.

Характеристики маневреності і стійкості, як відомо, визначаються комбінацією експлуатаційних, масово-геометричних і конструктивних параметрів модулів АТЗ. У загальному випадку бажані сполучення вказаних параметрів з точки зору стійкості та маневреності навіть для одного і того ж транспортного засобу в діапазоні експлуатаційних навантажень і швидкостей руху бувають різними. Як, наслідок, є складність отримання на ранніх стадіях створення АТЗ точних конструктивних параметрів і кількісних показників за критеріями маневреності та стійкості руху. Успіх у рішенні подібних задач залежить від того, наскільки вдало обрана математична модель і її істотні параметри, що описують поведінку динамічної системи у різних режимах руху.

Диференціальні рівняння руху триланкового метробуса, що складається із двовісного автобуса і двох причепів (або напівпричепів) були отримані на основі загальних теорем механіки про зміну головного вектора і головного моменту кількості руху. За допомогою розробленої математичної моделі триланкового метробуса визначені показники маневреності і стійкості руху. Зокрема, встановлено, що габаритна смуга руху при русі коловою траєкторією автопоїзда з керованим другим причепом складає 6,78 м, а з некерованим – 7,43 м, що на 7,65% і 5,21% відповідно менше, чим для метробуса на жорстких у бічному напрямку колесах.

При виконанні маневру ISO за швидкості руху автопоїздів 5 м/с як метробус з некерованим, так і керованим другим причепом вписуються у нормований коридор руху. При швидкості 10 м/с уже спостерігаються коливання керованого другого причепа, а відповідно і метробуса, які перевищують допустимі, а при швидкості 15 м/с це явище має місце і для метробуса з некерованим другим причепом.

Отримана система рівнянь дозволяє досліджувати поведінку триланкового (дволанкового) метробуса як у стаціонарних, так і нестаціонарних рухах, а також визначати критичну швидкість $v_{кр}$ автопоїзда, яка має два

підходи до своєї кількісної оцінки: перший, зв'язаний з дослідженням характеристичних рівнянь (1-й метод Ляпунова) чи функції Ляпунова (2-й метод Ляпунова), другий – з виходом параметрів руху за припустиму область. Критерій $v_{кр}$ зв'язує конструктивні й експлуатаційні параметри автопоїзда та його швидкість і дозволяє знайти її верхню межу, перевищення якої приводить до втрати стійкості руху.

Визначена критична швидкість руху триланкових метробусів з керованим і некерованим другим причепом (напівпричепом) та проаналізовані фактори, що впливають на її чисельне значення. За обраних вихідних даних критична швидкість руху для причіпної і напівпричіпної компоувальної схеми автопоїзда відповідно склала 29,83 м/с і 32,44 м/с.

Встановлено, що на підвищення критичної швидкості руху метробуса позитивно позначається зменшення коефіцієнта опору відведенню коліс керованих осей автобуса і другого причепа (наприклад, зменшенням тиску повітря в шинах коліс цих осей). Аналогічно до збільшення критичної швидкості руху призводить і підвищення коефіцієнта опору відведення коліс некерованих осей причепа, зменшення відстані між центром мас автобуса і точкою його зчипки з першим причепом. Збільшення маси автобуса і першого причепа при незмінній загальній масі метробуса призводить до збільшення критичної швидкості руху автопоїзда, у той час як збільшення маси останнього причепа призводить до її зменшення. При цьому встановлено, що швидкість появи коливальної нестійкості метробуса, що відповідала появі першого додатного кореня при розв'язку характеристичного рівняння, менша його критичної швидкості. За величиною цієї швидкості перевагу слід віддати автопоїзду з некерованим другим причепом.

Про стійкість метробуса у перехідних режимах руху можна судити по кутовій швидкості рискання окремих ланок метробуса і величині бічних прискорень при виконанні ним різних маневрів, зокрема «ривок рульового колеса» і «переставка». На основі проведених розрахунків встановлено, що для дволанкового метробуса кутова швидкість рискання автобуса на 25% менша у порівнянні з триланковим, а причепа – залишається майже незмінною у порівнянні з першим причепом і зменшується у 2,3 рази у порівнянні з другим причепом. Однак, про стійкість руху також можна судити по величині бічних прискорень, що діють у центрі мас окремих ланок. За величиною прискорень визначався режим руху. Режим руху вважався стійким, якщо прискорення будь-якої ланки метробуса не перевищували $4,5 \text{ м/с}^2$. Встановлено, що за швидкості 10 м/с бічні прискорення, що діють на окремі ланки метробуса з некерованим другим причепом при виконанні маневру «поворот», менші у порівнянні з керованим метробусом на 22...29%. При виконанні маневру «ривок рульового колеса» за швидкості 10 м/с обидва варіанти метробуса не забезпечують стійкість руху, бо максимальні бічні прискорення у центрі мас другого причепа перевищують порогове значення – $4,5 \text{ м/с}^2$.

Проведеними дослідженнями виявлені переваги і недоліки метробусів різних компоновальних схем, які можуть стати в нагоді при розробці конструкцій таких автопоїздів і подальшій їх експлуатації.

Sevruk Victor Sergeevich, design engineer of the 1st category, Minsk Wheel Tractor Plant, Minsk, Belarus, viktr-sevruk@tut.by

Ruckteschell Oleg Stepanovich, Doctor of technical Sciences, Professor, Belarusian national technical University, Minsk, Belarus

ANALYSIS OF SCHEMES OF RETARDER CONTROL SYSTEMS PRODUCED BY DOMESTIC AND FOREIGN MANUFACTURERS

The results of the study of retarder control systems of the main manufacturers are presented. The principles of their operation and their application features are described, advantages and disadvantages are noted. Based on the collected information, a conclusion is made about the basic principles of regulating the braking torque created by the retarder.

Literature

1. Автомобили: Конструкция, конструирование и расчет. Системы управления и ходовая часть : Учеб. пособие для вузов / А. И. Гришкевич [и др.] ; под ред. А. И. Гришкевича. – Мн. : Выш. шк., 1987. – 200 с.

2. Нарбут, А. Н. Гидротрансформаторы / А. Н. Нарбут. – М. : Машиностроение, 1966. – 216 с.

3. Стесин, С. П. Лопастные машины и гидродинамические передачи : Учебник для студентов вузов по специальности «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика» / С. П. Стесин, Е. А. Яковенко. – М. : Машиностроение, 1990. – 240 с.

4. Алексапольский, Д. Я. Гидродинамические передачи / Д. Я. Алексапольский. – М. : Машгиз, 1963. – 271 с.

5. Трансмиссии Allison [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.allisontransmission.com/ru-ru/transmissions>. Дата доступа: 07.07.2021.

6. Voith retarders – for greater safety, cost-effectiveness, and sustainability [Electronic resource]. – Mode of access: <https://voith.com/uk-en/braking-systems/retarders-trucks.html>. Date of access: 07.07.2021.

7. Troubleshooting Manual. Allison Transmission. MD/HD/B Series Transmissions. WTEC II Controls. (Pre-TransID and TID 1). Revision 1, 199910. – Allison Transmission, 1998. – 396 p.

8. АКП Allison 3000 серии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ndgs.ru/katalog/allison/new/3k/>. Дата доступа: 07.07.2021.

9. Сервисная инструкция Тормоз-замедлитель Voith VR 115 TMZ. – Voith Turbo, 2012. – 109 с.

10. Гавриленко, Б. А. Гидравлические тормоза / Б. А. Гавриленко, В. А. Минин, Л. С. Оловников. – М. : Машгиз, 1961. – 244 с.