

УДОСКОНАЛЕННЯ ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ НАХИЛУ КУЗОВА ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ

В. О. Козьма, Д. І. Якунін

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

Одним із напрямів підвищення швидкості руху та комфорту пасажирів без потреби в масштабній реконструкції інфраструктури є застосування технології нахилу кузова у високошвидкісних електропоїздах.

Дослідженню підлягають принципи, конструктивні особливості та ефективність систем нахилу кузова, що забезпечують зменшення дії відцентрових сил і підвищення стійкості поїзда. Задля підвищення ефективності систем нахилу кузова [1] електрорухомого складу пропонується удосконалення пневматичної підвіски за рахунок введення до її складу пневматичного циліндра подвійної дії. Запропоноване рішення дозволяє зменшити витрати стисненого повітря та забезпечує плавніше регулювання кута нахилу кузова під час руху по кривих ділянках колії.

Відомо, що бокове прискорення при русі по кривій визначається співвідношенням $a = V^2/R$, де V – швидкість руху, м/с; R – радіус кривої, м.

Для зменшення дії бокових прискорень у сучасних потягах застосовуються системи нахилу кузова. Кут нахилу кузова θ компенсує бокову складову прискорення, яке відчуває пасажир:

$$a_H = (V^2/R) \cdot \cos(\varphi + \theta) - g \cdot \sin(\varphi + \theta), \quad (1)$$

де: φ – кут піднесення зовнішньої рейки, g – прискорення вільного падіння.

Такі системи дозволяють підвищити швидкість проходження кривих на 25–30 % без суттєвого збільшення навантажень на колію та збереження комфорту пасажирів.

Згідно з [2], поїзди з нахилом кузова поділяються на пасивні (маятникові) та активні, у яких кут нахилу задається електромеханічним або гідравлічним приводом. Активні системи забезпечують кут нахилу до 7° , однак потребують значних енерговитрат і складного обслуговування.

На кафедрі електричного транспорту та тепловозобудування НТУ «ХП» було досліджено гібридну систему нахилу кузова, в якій основний нахил здійснюється лінійними електродвигунами втяжного типу, а додаткове регулювання кута виконується за рахунок пневморесор вторинної підвіски.

Запропонована система складається з двох пневморесор великого ходу; двостороннього пневмоциліндра подвійної дії; електромеханічного лінійного приводу втяжного типу; електронного блока керування з адаптивним алгоритмом.

При зміні радіусу колії система розподіляє тиск у пневморесорах так, щоб кузов нахилився на заданий кут. Рух повітря між ресорами здійснюється через керований двоходовий пневмоциліндр, який з'єднує ліву та праву пневморесори. Під час цього повітря не випускається в атмосферу, що мінімізує витрати.

Рівняння рівноваги кузова при нахилі має вигляд:

$$M \frac{d^2\theta}{dt^2} + c \frac{d\theta}{dt} + k\theta = M + \frac{V^2}{R} \cos(\varphi), \quad (2)$$

де: M – маса кузова, c – коефіцієнт демпфування системи, k – жорсткість пневморесор.

Додаткове введення пневмоциліндра подвійної дії дозволяє змінювати ефективну жорсткість $k_{\text{еф}}$ системи:

$$k_{\text{еф}} = k_0 + \frac{pA^2}{V}, \quad (3)$$

де: p – тиск у ресорі, A – площа поршня, V – об'єм камери. Це забезпечує плавне регулювання нахилу в межах $0 \dots 7^\circ$. Введення довгоходових пневморесор дозволяє зменшити масогабаритні показники лінійних двигунів.

Класична система пневморесор із випуском повітря під час нахилу витрачає об'єм повітря Q . У запропонованій схемі з внутрішнім перетіканням повітря $Q \approx 0$, що зменшує споживання повітря до 80–90 % у порівнянні зі стандартною схемою.

З урахуванням питомих витрат на роботу компресора, очікуване зниження енергоспоживання компресора становить близько 12 % для потяга з 10 вагонів.

Для аналізу динаміки кузова використовувалася модель із трьома ступенями вільності (крент, тангаж, вертикальні коливання). Вирішення виконано у середовищі MATLAB/Simulink, воно показало зменшення незгашеного бокового прискорення a_H з $0,9$ м/с² до $0,45$ м/с² при швидкості 120 км/год на кривій радіусом 400 м.

Запропонована гібридна система нахилу кузова поєднує переваги електромеханічного та пневматичного приводів. Введення пневмоциліндра подвійної дії дозволяє регулювати кут нахилу кузова без витрати стисненого повітря, що підвищує енергоефективність і знижує навантаження на компресор. Математичне моделювання показало зменшення бічного прискорення на 45–50 %, що забезпечує підвищення комфорту пасажирів. Система може бути впроваджена у вітчизняні електропоїзди для руху на ділянках зі складним профілем без необхідності перебудови інфраструктури. Подальші дослідження планується спрямувати на синтез оптимального регулятора кута нахилу з використанням нечіткої логіки та експериментальні випробування на дослідному вагоні.

Список літератури

- [1] Єріцян, Б. Х., Любарський, Б. Г., Якунін, Д. І. Моделювання комбінованої системи нахилу кузова швидкісного рухомого складу залізничного транспорту // *Східноєвропейський журнал передових технологій*. – Харків, 2016. – № 2/9(80). – С. 4–17.
- [2] Chopade, S. S. High Speed Tilting Train Technology // *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. – 2017. – Vol. 4, No. 12. – Available at: www.irjet.net.