

системой пассивной безопасности. Система пассивной безопасности включает жертвенные элементы и жертвенные зоны конструкции вагона, за счет деформации (разрушения) которых происходит гашение кинетической энергии удара. Особенно важно оборудовать энергопоглощающими устройствами локомотивы, так как они наиболее подвержены повреждениям при столкновениях. В связи с этим разработана математическая модель силовой характеристики межвагонного соединения, учитывающая совместную работу автосцепного устройства, элементов системы пассивной безопасности и конструкции экипажа.

Усовершенствованная модель для исследования динамики поезда в аварийной ситуации позволяет определить силы, действующие на конструкции локомотива и вагонов, ускорения экипажей, и оценить влияние работы устройств пассивной защиты на динамическую нагруженность состава.

Выполнено численное моделирование аварийного столкновения пассажирского поезда, составленного из локомотива и 8-ми пассажирских вагонов, с преградой массой 80 т со скоростью 20 км/ч и выше. Проведены исследования динамической нагруженности пассажирского поезда в случае, когда вагоны оборудованы системой пассивной защиты и без нее. Показано, что в случае аварийного столкновения пассажирского поезда с преградой наличие энергопоглощающих устройств позволяет значительно снизить уровень максимальных продольных сжимающих сил, возникающих в межвагонных соединениях, и ускорений экипажей.

УДК 629.423.31.004.18

*Нерубацький В. П., Щербак Я. В.*

*Українська державна академія залізничного транспорту*

### **ПОШУК ОПТИМАЛЬНИХ ЗАКОНІВ КЕРУВАННЯ ТЯГОВИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ В РЕЖИМАХ ТЯГИ ТА ЕЛЕКТРИЧНОГО ГАЛЬМУВАННЯ**

Енергетично оптимальне керування на транспорті є актуальною проблемою, оскільки витрата енергії щодня зростає у всіх галузях народного господарства, а джерела енергії обмежені. Витрати на електроенергію, яка затрачується на тягу поїздів, складають значну частку в загальних експлуатаційних витратах залізниць. Електричний транспорт є одним з основних споживачів електроенергії, яка переважно витрачається тяговим електроприводом рухомого складу. Тому зниження питомої витрати електроенергії тяговим електроприводом, а також інших транспортних витрат при виконанні визначеного об'єму перевезень є найбільш важливим економічним завданням залізничної галузі.

Одним з основних напрямів зниження питомої витрати електроенергії електрорухомим складом залізниць є розробка і впровадження оптимальних технологічних режимів роботи тягового електроприводу за критерієм мінімальної витрати електроенергії. Різні методи пошуку оптимальних технологічних режимів роботи тягового електроприводу електрорухомого складу мають свої переваги, недоліки і свою доцільну область використання. Постановка будь-якого

конкретного завдання оптимального керування включає в себе ряд чинників: математичну модель керованого об'єкта, мету керування (іменовану іноді критерієм якості), різного роду обмеження на траєкторію системи, керуюче діяння, тривалість процесу керування, клас допустимих керувань тощо.

Завдання пошуку оптимального керування у даному випадку формулюється таким чином: керування електрорухомим складом повинне вибиратися таким, щоб забезпечувався мінімум цільової функції при переміщенні електрорухомого складу з початкового пункту в кінцевий і при цьому дотримувалися краєві умови завдання і обмеження, що накладаються на його змінні стани. Завдання синтезу системи керування тяговим електроприводом є складовою частиною загального завдання створення оптимальної системи керування електрорухомим складом, що забезпечує чітке виконання графіка руху відповідно до заданого критерію оптимальності, зокрема, мінімуму енергетичних витрат або розгону електровоза чи електропоїзда до певної швидкості за мінімальний час. Останніми роками вирішення цих завдань пропонується виконувати з використанням сучасних технологій, в основі яких лежать методи аналізу і синтезу складних технічних систем.

Сучасний електрорухомий склад залізниць є складною динамічною системою, в якій протікають механічні, електромеханічні, термодинамічні і пневматичні процеси, і тому його математичний опис є достатньо непростим завданням і без введення спрощуючих припущень його навряд чи можна вирішити. Одним з найбільш дієвих методів при дослідженні складних динамічних систем є принцип максимуму Л.С. Понтрягіна. Цей принцип декілька останніх десятиріч широко використовується при оптимізації динамічних систем в техніці та економіці і знаходить своє застосування при дослідженні різноманітних техніко-економічних проблем, пов'язаних з оптимальним керуванням на залізничному транспорті.

Принцип максимуму відповідає принципу Вейерштраса і методу канонічних рівнянь Гамільтона в класичному варіаційному численні. Принцип максимуму разом з методом динамічного програмування є фундаментальним принципом теорії оптимального керування. Він представляє собою розвиток класичного варіаційного числення для дослідження завдань, що містять складні обмеження на керування. Зараз теорія оптимального керування переживає період бурхливого розвитку як у зв'язку з наявністю складних математичних завдань, так і через вирішення за її допомогою оптимізаційних завдань в таких областях, як економіка, біологія, медицина, ядерна енергетика.

Проведені в рамках даної роботи теоретичні та експериментальні дослідження, які були спрямовані на визначення оптимальних законів керування тяговим електроприводом електрорухомого складу залізниць постійного струму, дозволили розробити математичні моделі, які підтвердили перспективність використання принципу максимуму для синтезу оптимальних керувань поїздом в режимах тяги та електричного гальмування. Експерименти на математичних моделях показали ефективність застосування запропонованого в роботі алгоритму для дослідження і синтезу систем керування електровозів та електропоїздів. Розроблені математичні моделі можна використовувати при створенні нових та під час удосконалення існуючих систем керування електровозів і електропоїздів постійного струму, а також при створенні швидкісного і високошвидкісного залізничного транспорту.