

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДВИЖНОГО СОСТАВА, ОБОРУДОВАННОГО СИСТЕМОЙ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО НАКЛОНА КУЗОВА, МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.С. Митраков, аспирант

Научный руководитель – Д.Я. Антипин, к.т.н., доцент

Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург

E-mail: mitrakov.tema@mai.ru

На современном этапе развития высокоскоростных железнодорожных пассажирских перевозок ключевым фактором является повышение скоростей движения. Это приводит к сокращению времени нахождения пассажиров в пути и увеличению конкурентоспособности железнодорожного транспорта. На фоне роста конструкционных скоростей средние маршрутные скорости остаются практически без изменений. Это связано с ограничениями, накладываемыми на подвижной состав в кривых участках пути. Ограничения связаны с обеспечением должного уровня комфорта и безопасности. Решением данной проблемы является применение поездов с принудительным наклоном кузова в кривых.

Система принудительного наклона кузовов позволяет обеспечить безопасность движения, а также снизить воздействие на пассажиров центробежного ускорения, возникающего при движении в кривых участках пути с повышенными скоростями.

Применение подобных систем оказывает влияние на безопасность и комфорт пассажиров, в связи с чем еще на стадии проектирования необходимо оценить динамические характеристики подвижного состава. Критериями безопасности для поездов с принудительным наклоном являются: исключение опрокидывания в кривых, исключение схода колесной пары с рельсов, обеспечение допустимых величин динамических характеристик, обеспечение допустимого значения усилий отжатия рельса. Все перечисленные критерии необходимо определять для различных условий эксплуатации, учитывая такие параметры, как жесткость пути в зависимости от времени года и типа используемых шпал, радиусы кривых, скорость движения и количество пассажиров внутри вагона. Экспериментальная оценка параметров ходовой динамики возможна только после создания дорогостоящего опытного образца и связана с финансовыми затратами на испытания, требующих большого количества времени. Выходом из данной ситуации является использование методов математического моделирования, позволяющих упростить оценку безопасности и снизить количество применяемых ресурсов.

В работе предлагается реализация системы принудительного наклона на базе отечественного электропоезда ЭД4М, оборудованного пневматическим подвешиванием. Система наклона кузова построена на управлении уровнем опорных поверхностей пневматических рессор тележки контроллером, определяющим необходимый угол наклона кузова на основе показаний датчиков угловых ускорений, расположенных на кузове вагона.

Угол наклона определяется с учетом обеспечения безопасности движения и комфорта пассажиров по зависимости [1]

$$\beta = \arctg\left(\frac{V^2}{R \cdot g}\right) - \alpha$$

где V – скорость движения вагона в кривой; α – угол наклона пути относительно горизонта.

Исключение схода с рельсов в кривых участках пути оценивается по коэффициенту устойчивости против схода с рельсов, рассчитываемого по методике, рекомендуемой [2].

Максимальная скорость движения вагона в кривой определяется следующей зависимостью

где h_{\max} – максимальное возвышение наружного рельса в кривом участке пути, м; S – ширина колеи, м; $S=1,6$ м; $a_{\text{нп}}^{\delta}$ – непогашенное поперечное ускорение, действующее на буксу; $a_{\text{нп}}^{\delta}=0,7$ м/с²; R – радиус кривой, м; A – параметр, $A=4,6$.

Для оценки эффективности и безопасности предлагаемой системы разработана твердотельная динамическая модель пятивагонной секции, состоящей из двух головных вагонов, двух прицепных вагонов и одного моторного. Вагоны представляют собой систему абсолютно твердых тел, связанных между собой силовыми элементами и шарнирами. Для оценки динамических воздействий на пассажира в середине салона кузова размещены твердотельные модели антропометрических манекенов типа Hybrid III 50th Male Dummy. В салоне размещается два манекена: один в положении сидя, второй – в положении стоя.

Динамическая модель пневморессоры описывается в цифровом процессоре Matlab Simulink на основании методики, рекомендованной [3], и интегрируется в пакет «Универсальный механизм» [4].

Расчет потребного угла наклона производится на основании данных об ускорениях кузовов вагонов в программе Matlab Simulink. Далее производится расчет необходимого давления в пневморессорах, значение которого автоматически на каждом шаге интегрирования передается в твердотельную компьютерную модель пятивагонной секции.

В результате проведенных многовариантных расчетов, учитывающих все вышеперечисленные факторы и различные их комбинации, были получены следующие динамические характеристики предлагаемого электропоезда, оборудованного системой принудительного наклона кузова: вертикальные и горизонтальные ускорения кузова; коэффициент плавности хода; силы отжатия рельса; коэффициенты безопасности в отношении вкатывания колеса на рельс.

Полученные при моделировании движения поезда показатели ходовой динамики оценивались по их средним значениям с вероятностью не превышения $P=0,999$ путем обработки осциллограмм временных зависимостей в соответствии с РД 24.050.37.

Анализ полученных динамических характеристик показал, что предлагаемая в работе система наклона кузова в кривых позволяет снизить ускорения кузова на 20% и повысить плавность хода на 15%.

Список литературы:

1. Достоинства и недостатки технологии наклона кузова/ Железные дороги мира, 2009. – №7. – С. 60-66.
2. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм. (несамоходных). – М.: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. –319 с.
3. Presthus, M. Derivation of Air Spring Model Parameters for Train Simulation / M. Presthus; Department of Applied Physics and Mechanical Engineering. – Vasteros.: Lulea University of Technology, 2002. – 75 p.
4. «Универсальный механизм». Руководство пользователя, 2006.