

ствия и параметров системы, обусловленной влиянием конструктивных и трибологических факторов. Конструктивные факторы включают несовершенство геометрии элементов тормозной системы, их упругие, а также демпфирующие характеристики, внутренние и внешние связи, определяют комплексное взаимодействие всех элементов тормозной системы. Трибологические факторы характеризуются нестабильностью коэффициента трения на поверхности трущихся тел из-за фрикционных автоколебаний, зависящих в свою очередь от внешних условий – скорости скольжения, демпфирования, собственной частоты колебаний узла трения.

Построение реальных динамических моделей дисковых тормозов сопряжено с целым рядом сложностей: учет деформации составных элементов конструкции, существование зазора в контактной паре, превышение числа степеней свободы над числом степеней подвижности и др. Проведение же экспериментальных исследований в реальных условиях часто связано с высокими материальными затратами. Целью представленной работы является разработка модели контактного взаимодействия таких элементов тормозных систем, как диск и колодка в среде пакета ANSYS/LS-DYNA.

В качестве объекта исследования принят сплошной тормозной диск, геометрическая форма которого представлена составным объемом двух цилиндров с толщиной 20 и 50 мм, наружным диаметром 260 и 140 мм соответственно, имеющим сквозное отверстие диаметром 100 мм, находящимся в контакте с тормозной колодкой в форме сектора с внешним радиусом 130 мм, внутренним радиусом 50 мм и центральным углом  $90^\circ$ , толщиной 20 мм. Материал элементов модели – сталь с модулем упругости 200 ГПа, коэффициентом Пуассона 0,3. При создании конечноэлементной сетки для твердых тел использовался 3D-элемент – SOLID 164 и оболочечный элемент – Thin shell 163. Контактная пара – «поверхность – поверхность», причем в зоне контакта и колодка, и диск являются плоскими поверхностями. Задавалось осевое перемещение колодки и вращение диска вокруг этой же оси за различные промежутки времени. Значение коэффициента трения принималось равным 0,2. Общее количество элементов модели составило около 110000.

В ANSYS поддерживаются неявные (implicit) методы интегрирования динамики, и расчет сводится к серии решений квазистатических задач с нагрузками, зависящими от времени. Для высокоскоростных процессов (протекающих обычно несколько миллисекунд) и при очень больших деформациях приходится делать шаги весьма малыми, чтобы отследить изменение нагрузки и поведение конструкции. В отличие от ANSYS расчетный модуль LS-DYNA использует явную (explicit) постановку решения задачи и позволяет успешно решать кратковременные и быстротекущие задачи, такие как удары, столкновения, а также процессы разрушения.

Расчеты проводились для различных вариантов сгущения торцевых линий контактирующих поверхностей при регулярном сеточном разбиении, что позволило наиболее быстро получить сходящееся решение. В результате решения задачи о контактном взаимодействии деталей тормозной системы было получено распределение контактных напряжений конструкции по поверхности контакта. Установлено, что пластические деформации в колодке в разы превышают пластические деформации в диске, т. е. наблюдается эффект упрочнения.

Таким образом, разработанная конечноэлементная модель позволяет оценить напряженно-деформированное состояние системы с учетом упругопластических деформаций, что создает предпосылки для дальнейшего совершенствования конструкций тормозных систем.

УДК 656.223

## **РАСШИРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПНЕВМОКОЛЕСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ЗА СЧЁТ УСТАНОВКИ КОМБИНИРОВАННОГО ХОДА**

*В. А. ТАШБАЕВ, К. В. МАКСИМЧИК, Д. Ю. СЕЛЮЖИЦКИЙ  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Попытки конструкторов дать автомобилям и другой пневмоколесной технике возможность перемещения по рельсам были предприняты еще на заре автомобилестроения. Проводились работы по внедрению комбинированного хода, который позволял бы успешно выполнять поставленную

задачу. В наши дни такие машины становятся все более популярней. В данном материале рассмотрено оборудование комбинированного хода, а также некоторые машины на комбинированном ходу.

Оборудование комбинированного хода по конструктивному исполнению можно классифицировать на две группы: направляющий комбиход и приводной (ведущий).

В первом случае навесное оборудование комбинированного хода может устанавливаться на серийные автомобили, тракторы и специальные шасси для обеспечения их движения по рельсовому пути колеи 1520 и 1435 мм без установки пневмоколесного транспортного средства на рельсовый путь (на переездах и в нулевых местах), а также перевода его с одной колеи на другую. Установка навесного оборудования не снижает скорости движения транспортных средств по автодорогам, однако их возможности на бездорожье при этом несколько уменьшаются вследствие незначительного ухудшения геометрической проходимости. Тяговое усилие пневмоколесные транспортные средства на комбинированном ходу развивают за счет сцепления ведущих пневматических колес с рельсами.

При движении по рельсовому пути ведущими и тормозными являются задние колеса. Направляющие катки удерживают транспортное средство на рельсах и частично воспринимают на себя нагрузку от его веса. Передние колеса транспортного средства полностью вывешиваются на 50–60 мм выше уровня головки рельсов. Направляющие катки соединяются с рамой транспортного средства с помощью подвесок пружинного типа. Подвеска задних направляющих катков установлена позади заднего моста.

У некоторых автомобилей колея ведущих пневмоколес не совпадает с рельсовой колеей, поэтому ведущие колеса необходимо раздвигать на некоторую величину в зависимости от ширины рельсовой колеи. Для этой цели применяют уширительные шайбы, устанавливаемые между дисками колес и тормозными барабанами.

Для перевода комбинированного железнодорожного хода из транспортного положения в рабочее применяются различные приводы (механический, электрический, гидравлический, комбинированный).

Самую многочисленную группу машин на комбинированном ходу представляют экскаваторы. Эти повсеместно применяемые машины произвели революцию во многих областях путевых работ, так как помимо обычных ковшей для выемки грунта их можно оснащать таким сменным оборудованием, как траверсы для подъема и перемещения рельсов, захваты для укладки рельсов, струги и щетки для перемещения балластного материала и формирования балластной призмы, поворотные устройства для удаления растительности с пути, приспособления для замены шпал, шпалоподбивки, для непосредственного ремонта или обслуживания. Рабочие органы машин на комбинированном ходу позволяют выполнять экскавацию грунта, работы по подъему и перемещению грузов как штучных, так и сыпучих, а также обрезку сучьев и кустов.

Машины меньших размеров и массы выпускаются на базе адаптированных легковых автомобилей, внедорожников и пикапов.

Особо широкая гамма машин разнообразного назначения, оснащаемых самосвальными кузовами, подъемными площадками, крановым оборудованием, цистернами, оборудованием для распыления гербицидов и т. д., выпускается с использованием шасси Mercedes Unimog. Компактное транспортное средство для шлифования рельсов Ro-V149 предназначено для восстановления профиля рельса, удаления волнообразной деформации и прокатной окалины, а также для контактного шлифования. Ширина обрабатываемой колеи может меняться и устанавливаться в зависимости от ремонтируемого пути. Данная машина оснащена высокоэффективным пылесборником, который вместе с защитной камерой и фильтром обеспечивает идеальную защиту от абразивной пыли.

Для Республики Беларусь подобная техника также не нова. Машины на комбинированном ходу выпускаются МАЗом. Данными машинами пользуются предприятия железнодорожного транспорта и подразделения МЧС. Машины отечественного производства способны выполнять множество различных операций при строительстве, эксплуатации и ремонте железных дорог, а также применяются для спасения или эвакуации людей или других целей в комплексе спецопераций. Так, локомотив на базе шасси МАЗ-6303 предназначен для доставки оборудования по содержанию и ремонту автомобильных дорог и железнодорожных путей, а также может использоваться в качестве локомотива и поездных работ.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что существуют множество различных машин на комбинированном (железнодорожном и автомобильном) ходу, и их использование на предприятиях, в том числе, промышленного комплекса Республики Беларусь позволяет снизить экономические затраты при производстве путевых, поездных и маневровых работ.