

ОСОБЕННОСТИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ, СОПРОВОЖДАЮЩИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТОКОСЪЕМНИКА С КОНТАКТНЫМ ПРОВОДОМ

И. И. КАПЛЮК, А. О. ШИМАНОВСКИЙ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Компьютерное исследование с использованием программных средств инженерного анализа контактного взаимодействия «контактный провод – токосъемная вставка токоприемника электрического подвижного состава» представляет научно-практический интерес, т. к. при решении такого рода задач следует учитывать многофакторность, присущую данному контактному взаимодействию [1]. Это позволяет обобщить результаты экспериментальных исследований и предложить пути совершенствования конструкции электроподвижного состава.

Задача, связанная с компьютерным моделированием контактного взаимодействия токосъемной вставки токоприемника с питающим проводом электросети, предполагает несколько этапов последовательной разработки конечно-элементных моделей элементов соединения «контактный провод – токосъемная вставка», соответствующих реальным условиям. Математическая имитация сильно-точного скользящего контакта в рассматриваемом соединении сводится к рассмотрению трех основных видов процессов, которые в ходе решения связываются между собой (выходные результаты одной модели становятся входными данными для другой модели):

- движение пантографа с токосъемной вставкой относительно провода (динамические процессы);
- снятие электрического тока и передача электрической энергии от питающей сети к подвижному составу (электрические процессы);
- нагревание и распространение тепла в контактирующих элементах (тепловые процессы, вызванные трением в процессе движения и длительным воздействием электрического тока).

Возможные состояния моделей контакта «контактный провод – токосъемная вставка» определяются входными параметрами, к которым следует отнести: геометрию и свойства материалов тел, вступающих в контакт; физические величины, описывающие процессы взаимодействия и непосредственного контактирования тел, а также условия окружающей среды и налагаемые ограничения. Для описания объекта моделирования на каждом этапе используется соответствующий набор параметров. Выбор и задание граничных условий при математическом описании контакта «контактный провод – токосъемная вставка» осуществляется из учета нахождения оптимальной силы прижатия токосъемника к проводу в различных комбинациях сопутствующих процессов. Каждый блок моделирования при этом может быть усовершенствован.

Для апробации разработанных компьютерных моделей с целью сокращения времени расчетов на стадии создания геометрической модели контакта «контактный провод – токосъемная вставка» целесообразно учесть симметричность данной модели относительно вертикальной плоскости провода. Сам контактный провод достаточно смоделировать круглого сечения, не детализируя форму (определяемую креплением), внутреннее устройство и некоторый износ, возникающий в процессе эксплуатации, т. к. в зоне контакта провод имеет цилиндрическую форму. Также по длине провод желательно разбить на отдельные зоны: зону непосредственного контакта с токосъемной вставкой, зону ближайшего удаления от краев токосъемной вставки – и в случае необходимости (при движении со скоростью для исследования тепловых и электрических закономерностей) ввести дополнительные зоны дальнего удаления. Данное разбиение геометрии позволит удобнее сгенерировать конечно-элементную сетку. Контактную вставку также можно разбить на участки относительно удаления от контактного провода по длине и глубине токосъемной вставки.

При построении тестовой модели длина участка провода принята равной 10 см, его радиус 6,5 мм. В качестве модели угольной вставки с подкладкой приняты два прямоугольных параллелепипеда размерами 100×7×30 мм и 100×2×30 мм. Такое разделение использовано для создания более мелкой сетки конечных элементов в области соприкосновения тел. Также с целью создания мелкой сетки в области контакта провода с накладкой дополнительно выполнено рассечение провода и накладки плоскостью, расположенной на расстоянии 1 мм от плоскости симметрии. При решении контактной задачи, чтобы учесть скольжение провода, вызванное действием продольной силы, провод разбит на части так, чтобы центральная часть оказалась шире графитовой вставки [2].

Для определения механических напряжений в контакте без учета других явлений для угольной вставки задавались: модуль упругости – 10 ГПа, коэффициент Пуассона – 0,24, плотность материала – 1760 кг/м³.

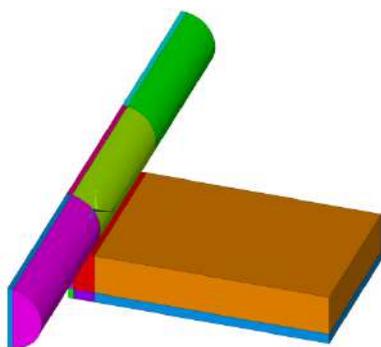


Рисунок 1 – Геометрическая модель системы «контактный провод – токосъемная вставка»

Для контактного провода из меди приняты следующие физические характеристики: модуль упругости – 100 ГПа; коэффициент Пуассона – 0,2; плотность материала – 5529 кг/м³. Контакт задан фрикционным. Коэффициент трения в контакте принят равным 0,06. Контактная пара принята фрикционной, несимметричной с формулировкой «Augmented Lagrange». Был назначен контакт между телами без отстранения. Коэффициент нормальной жесткости уменьшен в 10 раз до 0,01 по сравнению со значением по умолчанию, чтобы обеспечить более устойчивый контакт тел по всей поверхности контакта. Чтобы учесть свойства механического взаимодействия провода со вставкой сила натяжения провода принята равной 500 Н, а сила давления провода на вставку – 140 Н.

В качестве граничного условия введен запрет поперечного смещения вставки относительно провода, а также закреплены его концы. Решение выполнено для положения равновесия и при смещении токосъемной вставки относительно провода со скоростью 1 м/с.

При тепловом расчете приняты параметры: для угольной вставки коэффициент теплопередачи в контакте – 70 Вт/(м²·К); коэффициент теплового расширения – $7,9 \cdot 10^{-6}$ 1/К; коэффициент теплопроводности – 150 Вт/м·К; удельная теплоемкость – 708 Дж/кг·К. Для провода: коэффициент теплового расширения провода – $16,7 \cdot 10^{-6}$ 1/К; удельная теплоемкость – 383 Дж/кг·К; коэффициент теплопроводности – 380 Вт/м·К. Для нахождения плотности теплового потока, обусловленного кулоновым трением, коэффициент рассеивания энергии принят равным 1. Весовой коэффициент, учитывающий распределение тепла между контактной и целевой поверхностями, принят равным 0,5. Предполагалось, что при температуре 22 °С тепловые деформации отсутствовали. Указанная температура принята в качестве начальной [3].

Для электрического расчета удельное сопротивление токосъемной вставки принято 0,008 Ом·м, а материала провода – $1,72 \cdot 10^{-8}$ Ом·м. К одному концу провода приложен входной поток электрического тока, равный 200 А, на выходной плоскости токосъемной вставки задано напряжение 0 В. Входными данными являлось распределение механических напряжений. Силой трения в контакте пренебрегали.

Тестирование разработанных конечно-элементных моделей показало, что получаемые с их помощью результаты достаточно точно соответствуют реализуемым на практике значениям.

Список литературы

- 1 Improving of the electrothermal characteristics of the contact line / A. Galkin [et al.] // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2020. – Vol. 1115. – P. 195–205.
- 2 Shimanovsky, A. Modeling of the pantograph–catenary wire contact interaction / A. Shimanovsky, V. Yakubovich, I. Kapliuk // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 134. – P. 284–290.
- 3 Каплюк, И. И. Моделирование контактного взаимодействия токосъемника и контактного провода с учетом тепловых процессов / И. И. Каплюк // Актуальные вопросы машиноведения. – 2018. – Вып. 7. – С. 46–48.

УДК 539.431, 539.422.24

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ МАТЕРИАЛОВ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

В. В. КОМИССАРОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Описание процессов накопления поврежденности и разрушения в различных процессах деформирования твердых тел, является важной и актуальной задачей. Знание кинетики указанных процессов дает ключ к достоверной оценке надежности объектов в заданных условиях эксплуатации, а также позволяет определить оптимальные условия его использования. Усталостные явления проис-