

контактирующих поверхностей. Исследование контактного взаимодействия при качении тел с конформными поверхностями проводилось в [24]. Кроме того, возможна оптимизация кинетической зависимости коэффициента сцепления. В противовес известному мнению о том, что коэффициент сцепления при боксовании колеса снижается, недавние экспериментальные исследования показали допустимость боксования для увеличения потенциального коэффициента сцепления [30]. В связи с этим представляет интерес определение уровня проскальзывания, который обеспечивает максимальное тяговое усилие T_t при минимуме энергетических потерь A_f и износа поверхности I_v . Формулировка задачи оптимизации с учетом взаимного влияния параметров имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \max T_t; \quad T_t &= \int_0^{S_s} \tau ds; \\ \min I_v; \quad I_v &= I_v(A_f); \quad A_f = A_f(\dot{u}, \tau, S_s); \\ \dot{u} &= \dot{u}(f); \quad \tau = \tau(f); \quad S_s = S_s(f), \end{aligned}$$

причем $f = f(\dot{u})$.

С использованием численного моделирования [37] были получены расчетные оценки изменения объемного износа I_v в зависимости от T_t/N при различном соотношении коэффициентов трения покоя f_0 и скольжения $f_s = f_0 + \Delta f$. Установлено, что износ нелинейно зависит от коэффициента сцепления T_t/N . При $\Delta f < 0$ на зависимости $I(T_t/N)$ можно выделить два участка – пологий, соответствующий малым значениям T_t/N , и участок резкого увеличения износа при соотношении T_t/N , близком к предельному. Отмеченный результат согласуется с данными экспериментов по измерению потерь энергии при осциллирующей тангенциальной нагрузке.

Более резкое возрастание предельного усилия и величины износа $I_v(f)$ с повышением тягового усилия T_t , характерное для случая $\Delta f > 0$, объясняется одновременным увеличением длины зоны проскальзывания и тангенциальных контактных напряжений в ней, что отсутствует при $\Delta f \leq 0$. Это подтверждается явлением самопрекращающегося боксования [30], наблюдаемым в интервале скоростей движения локомотивов от 0 до 70 км/ч (зафиксировано значение $\Delta f = 0,8f_0$). Такая кинетическая зависимость, очевидно, связана с повышением адгезионного взаимодействия поверхностей вследствие удаления антифрикционных пленок (пыли, окислов, влаги, смазки) и образования наслоений частиц износа. Можно прогнозировать, что при надлежащем выборе параметров контактирования этот полезный

эффект будет проявляться при проскальзывании колес модуля СТС в соответствующем диапазоне скоростей движения. Для выбора параметров трения f_0 и Δf в реальных условиях эксплуатации необходимо установить функциональную связь указанных характеристик с состоянием поверхности до и после проскальзывания.

Особенности фрикционного воздействия в устройствах передачи тяги канатных дорог, подъемниках и т. д., использующих гибкую направляющую, рассматриваются в [49]. Полученные авторами соотношения описывают граничные случаи упругого скольжения канатного шкива для различных пар контактирующих поверхностей.

Электропроводность. Как указано в [14], для повышения работоспособности сильнооточных скользящих контактов следует применять металлические контакты со смазкой, наполненной дисперсными электропроводными наполнителями, или композиционные металлсодержащие материалы. Оптимизация свойств контакта, достигаемая при использовании металлизированных твердых смазок, введенных в состав композита, позволяет эксплуатировать такие токоъемники при скорости скольжения до 100 м/с.

Менее напряженным оказывается токоъем в контакте качения для запитки электропривода модуля СТС (подобно колесу электровоза). Непрерывное «обновление» зоны контакта при качении улучшает условия теплоотвода, что создает предпосылки для увеличения скорости. Вместе с тем следует провести, с одной стороны, исследования напряженно-деформированного состояния контакта тел, имеющих поверхностный слой со сложной композитной структурой и работающих в условиях упругогидродинамической смазки с учетом прохождения электрического тока (прочностной аспект). С другой – важно исследовать роль напряженного состояния контакта в прохождении электрического тока и теплообразовании (электрический и температурный аспект).

Температура. Особенностью фрикционного взаимодействия между колесом и направляющей струнной транспортной линии являются высокие скорости проскальзывания, например, при аварийном торможении модуля. Такие скорости в настоящее время создаются при разгоне специальных тележек на ракетных треках. Треки позволяют воспроизвести дозвуковые и сверхзвуковые скорости (до 2500 м/с), при которых температура поверхности трения может достичь температуры плавления трущихся тел [1, 19].

Однако для указанного вида испытаний имеет место режим скольжения полоза ракетной тележки по направляющей, существенно более напряженный по сравнению с качением колес транспортного модуля СТС.