

К вопросу о двухребордном колесе подвижного состава струнного транспорта Юницкого (СТЮ)

1. Краткий исторический очерк

"...Все без исключения железнодорожные колёса жёстко насажены на ось, которая вращается с колёсами как единое целое, называемое колёсной парой. Отсюда следует, что оба колеса всегда имеют одну и ту же частоту вращения. Для того, чтобы колёсная пара катилась по середине прямолинейного пути, не вызывая боковых сил, профиль колёс имеет коническую форму. Наклон образующей конической поверхности к её оси составляет 1:20. Колёса колёсной пары центрируются на рельсах, поскольку оба колеса должны иметь один и тот же диаметр круга катания..." [1, стр. 192].

Принятая для подвижного состава железных дорог мира ещё более 150 лет назад колёсная пара с одноребордными коническими колёсами имеет существенные недостатки.

Во-первых, из-за разности в диаметрах конической опорной части колеса все его точки, контактирующие с рельсом, проскальзывают относительно него, приводя к повышенному износу как опорной части колеса, так и поверхности катания рельса. Для колеса, имеющего средний диаметр 95 см и ширину поверхности катания, подвергающуюся износу, равную 3 см, разность диаметров колеса по границам поверхности катания составит около 3 мм, а их окружностей - около 1 см.

Колёсная пара современного высокоскоростного поезда делает около 30 оборотов в секунду, что приводит к проскальзыванию колеса по границам поверхности катания со скоростью до 15...20 см/с. При нагрузке на колесо порядка 10 тс это приводит к ряду негативных последствий: 1) к интенсивному и неравномерному износу как колеса, так и рельса; 2) к появлению сдвиговых деформаций соприкасающихся поверхностей и крутящих моментов в рельсе и бандаже колеса (относительно вертикальной оси); 3) к появлению волнистости на этих поверхностях, ещё больше усиливающей износ и приводящей к увеличению интенсивности шума на железных дорогах на 10 дБА [1, стр. 190]. В основном по этим причинам "критический" тоннаж, соответствующий началу интенсивного выхода рельсов из строя, ограничен 200...400 млн. тонн брутто [2, стр. 101].

Таким образом, при нагрузке на колёсную пару около 20 тс, поверхность катания рельса за срок службы испытывает 10...20 млн. циклов нагружения с проскальзыванием зоны контакта, которое при скоростях движения порядка 100 км/час достигают значений 5...7 см/сек. Поэтому специалисты США и Великобритании делают вывод: "... Уменьшение или полная ликвидация угла конусности бандажей колёс будет способствовать снижению шума качения..." [1, стр. 193].

Во-вторых, в силу конструктивных особенностей колёсной пары на железных дорогах мира наибольшее распространение для торможения подвижного состава получили тормозные колодки. Специалисты отмечают, что "...Тормозные колодки отрицательно влияют на поверхность катания колёс. Обследование поверхности катания бандажа колёса и подвижного состава, оснащённого тормозными колодками, показало чётко различимую картину светлых и тёмных пятен, которые воссоздают полную аналогию с картиной поверхности катания головок рельсов с волнообразным износом. Подъёмы, вызванные этим эффектом, также аналогичны подъёмам при образовании волнообразного износа поверхности катания рельса, а расположение этих подъёмов также носит непериодический характер. Измерения высоты волнообразного износа на поверхности катания колеса представляет собой гораздо более сложную задачу, чем измерение подобной величины на поверхности катания рельсов... Высота волнообразного износа на поверхности катания колеса также составляет несколько десятков микрон..." (при длине волны износа около 50 мм) [1, стр. 190].

В-третьих, масса колёсной пары железнодорожного состава достигает значений в одну тонну; ещё больше масса взаимодействующей с колесом путевой структуры, что при неизбежных неровностях колеса и рельса приводит к появлению высоких динамических нагрузок и значительных контактных напряжений. Это вызывает повышенный износ взаимодейст-

вующих поверхностей, ещё сильнее увеличивающий эти неровности, а также приводит к повышенному шуму при движении.

В четвертых, колёсная пара склонна к автоколебаниям, так как из-за вертикальных перемещений на неровностях рельса одного из колёс, начинаются колебания жёстко связанного с ним второго колеса. Автоколебания возникают также из-за рыскания как колёсной пары, так и колёсной тележки, так как расстояние между осями колёс в тележке (200 см) соизмеримо с шириной колеи (152 см). Автоколебания колёс возникают также из-за сцепки между вагонами, так как колебания одного вагона через сцепку передаются на соседние вагоны и, соответственно, на их колёсные пары. Автоколебания колёс резко ухудшают динамику движения подвижного состава, приводят к усилению неравномерного износа поверхностей катания колёс и рельса.

2. Двухребордное колесо транспортного модуля СТЮ

Колесо модуля СТЮ с независимой "автомобильной" подвеской и с двумя ребордами лишено недостатков железнодорожной колёсной пары, перечисленных выше в п. 1.

На рис. 1 показаны варианты конструкции самоцентрирующегося двухребордного колеса и его опирания на рельс-струну.

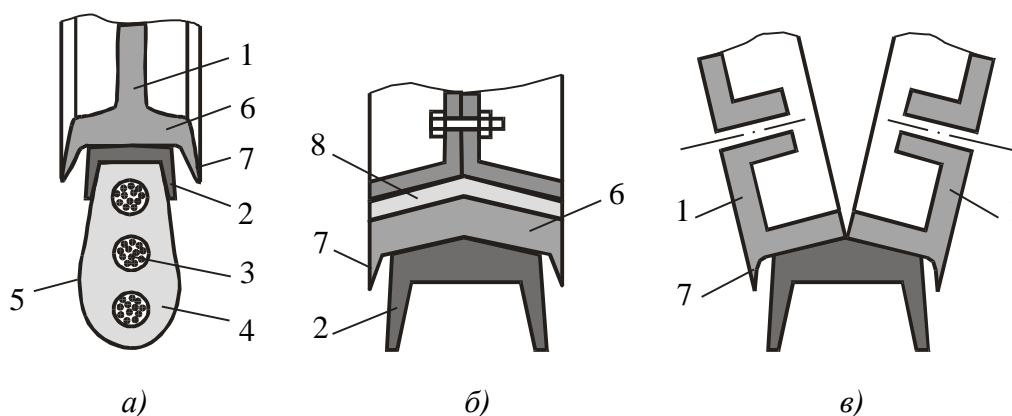


Рис. 1. Сопряжение двухребордного колеса с рельсом-струной:

а) с плоской головкой рельса; б) с двухскатной головкой; в) с двумя однорребордными колёсами; 1 - колесо, 2 - головка рельса; 3 - струна; 4 - наполнитель; 5 - корпус рельса-струны; 6 - бандаж колеса; 7 - реборда (гребень); 8 - демпфирующая прослойка.

Колесо, показанное на рис. 1а, центруется за счет скруглений на сопряжении реборды и бандажа колеса, и имеет цилиндрическую поверхность катания. В штатном режиме качения колесо опирается на цилиндрическую поверхность катания. В этом случае будет иметь место "чистое" качение, без износа рельса и колеса. В случае отклонения колеса от центра рельса вправо или влево (при правильно выставленных колёсах и прямолинейной трассе штатный пробег составит сотни метров) колесо начнёт опираться на наклонную часть закругления у основания реборды. В результате возникает стабилизирующее усилие, направленное к центру рельса, обусловленное как увеличением диаметра опорной зоны колеса, так и наклоном площадки в зоне контакта колеса с рельсом. Поскольку время такого бокового точечного контакта составит величину до 3...5% от всего времени движения, а усилие этого контакта будет плавно возрастать от нуля до 50...100 кгс на одно колесо (это обеспечит боковое стабилизирующее ускорение до 1 м/с^2 при жёсткой посадке колеса и до $0,1 \text{ м/с}^2$ при "плавающей" подвеске), то износ колеса модуля СТЮ, обусловленный его конусностью у основания реборды, будет на два порядка ниже, чем железнодорожных колёс. (Для сравнения: железнодорожное колесо 100% времени движения опирается с усилием порядка 10000 кгс на конусную поверхность с конусностью 1:20).

Сборное колесо, показанное на рис. 2б, стабилизируется за счёт двухскатности головки и вогнутого бандажа (симметричное положение колеса относительно рельса соответствует ми-

нимуму потенциальной энергии; смещение колеса в сторону вызывает подъём центра масс транспортного модуля и приводит к появлению восстанавливающей силы, пропорциональной нагрузке на колесо), а также (при больших отклонениях) - за счёт закругления у основания реборды.

Двухребордное колесо, показанное на рис. 1в, образовано двумя одноребордными колёсами с независимыми осями вращения. Такое колесо, несмотря на двухскатный рельс, имеет цилиндрическую (а не конусную) поверхность катания, и сочетает в себе достоинства описанных вариантов.

Двухребордное колесо позволяет отказаться от колёсной пары и сделать независимую ("автомобильную") подвеску, что резко улучшает динамику движения, особенно при высоких скоростях движения. Отпадает необходимость в колёсных тележках. Благодаря этому, а также отсутствию сцепки между электромодулями СТЮ, исключаются автоколебания колёс и взаимодействующих с ними рельсов.

Описанные варианты колёс подвижного состава СТЮ имеют массу в пределах 20...30 кг и нагрузку на одно колесо в пределах 1000...1500 кгс. Поэтому при той же ширине опирания и при тех же неровностях рельса, что и на железной дороге, динамические контактные напряжения в паре "колесо - рельс" в СТЮ будут на порядок ниже.

Строительная ровность рельса-струны, содержащей только растянутые элементы, опирающиеся на жёсткие опоры, будет выше ровности железнодорожного рельса, уложенного на шпальную решетку, опирающуюся на щебёночную подушку и земляное полотно. Основание шпальной решетки железных дорог пластично и накапливает необратимые деформации, обусловленные как динамикой воздействия подвижной нагрузки, так и климатическими факторами (действие дождя, поверхностных и грунтовых вод, морозного пучения и др.). Ни один элемент путевой структуры СТЮ не испытывает пластической деформации и работает только в упругой стадии.

Колёса подвижного состава СТЮ снабжены дисковыми тормозами, поэтому поверхность катания колёс будет иметь более высокую ровность, чем железнодорожные колёса.

Таким образом, с учётом описанных преимуществ, можно прогнозировать, что "критический" тоннаж для головки рельса-струны в СТЮ будет в 2...3 раза выше, чем на железнодорожном транспорте, и может достичь значений 1 млрд. тонн брутто. При этом необходимо отметить, что расход стали на головку рельса-струны будет в 2...3 раза меньшим, чем для изготовления современных железнодорожных рельсов.

Необходимо также отметить, что работа пары "колесо-рельс" в СТЮ близка (по нагрузкам, скоростям движения, используемым материалам и др.) к работе роликовых подшипников и клиноремённых передач, где рабочие поверхности (беговые дорожки и ролики подшипников, шкивы передач) за срок службы испытывают миллиарды циклов нагружения.

Литература:

1. Шум на транспорте / Пер. с англ. К.Г.Бомштейна. Под ред. В.Е.Тольского и др. - М.: Транспорт, 1995. 368 с, ил.
2. Большая энциклопедия транспорта. В 8 томах / Под общей ред. В.П.Калявина. Том 4. Железнодорожный транспорт / Под ред. А.А.Зайцева, В.Е.Павлова. - СПб.: "Элмор", 1994. 328, ил.

© А. Э. Юницкий, 24.02.2000 г.
Генеральный конструктор СТЮ,
академик Российской Академии Естественных Наук