

О ПРОТИВОРЕЧИИ В ТЕОРИИ КАЧЕНИЯ ЭЛАСТИЧНОГО КОЛЕСА

Во всех современных учебниках указывается, что взаимосвязь между крутящим моментом колеса M_k и его силой тяги P_k осуществляется посредством динамического радиуса r_d :

$$M_k = P_k \cdot r_d + R_z \cdot a, \quad (1)$$

где R_z – нормальная реакция опорной поверхности на колесо; a – продольный снос нормальной реакции.

Однако в учебниках Г.А. Смирнова (МВТУ им. Баумана), А.И. Гришкевича (Белорусский политехнический институт), а также в п. 38 действующего стандарта ГОСТ 17697-72 утверждается, что упомянутая взаимосвязь осуществляется посредством радиуса качения колеса r_k (здесь и везде далее он рассматривается без учета буксования или проскальзывания):

$$M_k = P_k \cdot r_k + M_f = P_k \cdot r_k + f R_z r_k, \quad (2)$$

где $M_f = f R_z r_k$ – момент сопротивления перекатыванию, f – коэффициент сопротивления перекатыванию.

Уравнения (1) и (2) представляют собой два различных способа вычисления одной и той же физической величины, результаты расчетов по ним должны совпадать. Но поскольку величины r_d и r_k могут существенно различаться, то результаты расчетов по уравнениям (1) и (2) тоже могут быть разными (вторые слагаемые в правых частях уравнений (1) и (2) из-за своей малости в общем случае не могут компенсировать различия в значениях первых слагаемых). Это является признаком научной проблемы, без разрешения которой теория качения не может претендовать на истинность предоставляемых ею результатов. Результаты расчетов всегда можно оспорить, противопоставив им существенно иные результаты.

Колесо является одним из многих возможных конструктивных вариантов исполнения движителей. Например, при движении по рыхлому песку могут применяться квадратные колеса, при движении по глубокому бездорожью – планетарно-колесные движители (их можно рассматривать как треугольные колеса), а также гусеничные или шагающие движители. Любой из движителей представляет собой устройство для преобразования энергии вращательного движения в механическую работу поступательного движения. В результате этого общие закономерности энергетических и силовых свойств всех движителей должны быть одинаковыми. Рассмотрим их, для чего составим уравнение баланса энергий (работ) на входе устройства (во вращательном движении) и на выходе (в поступательном движении):

$$(M_k - M_f)\alpha = P_k L_T = P_k k \alpha \quad (3)$$

где M_k – подведенный к устройству крутящий момент; M_f – потери крутящего момента на преодоление сил трения в устройстве; α – угол поворота входного элемента устройства; P_k – сила тяги, которую развивает выходной элемент устройства в поступательном движении; L_T – теоретический путь поступательного перемещения выходного элемента, наблюдающийся при повороте входного элемента на угол α ; $k = L_T / \alpha$ – коэффициент пропорциональности между значениями величин L_T и α .

Разрешим равенство (3) относительно силы тяги P_k :

$$P_k = (M_k - M_f)\alpha / L_T = (M_k - M_f) / k. \quad (4)$$

Таким образом, сила тяги P_k на выходе любого устройства, предназначенного для преобразования механической энергии вращательного движения в механическую работу поступательного движения, независимо от его конструктивного исполнения зависит от значения только двух величин: полезной входной энергии $(M_k - M_f)\alpha$ и пути L_T . Из этого следует:

а) для определения силы тяги P_k на выходе такого устройства необходимыми и достаточными являются значения только двух указанных выше величин или величин, функционально связанных с ними. Например, вместо полезной энергии можно применять полезный крутящий момент $M_k - M_f$, а вместо пути L_T поступательного перемещения – коэффициент пропорциональности k между значениями L_T и α ;

б) применительно к гусеничному или колесному движителям коэффициент пропорциональности k представляет собой радиус качения r_k соответственно ведущей звездочки или колес. Это подтверждает необходимость применения для эластичного колеса именно радиуса качения, а не динамического радиуса;

в) любые физические величины, функционально не связанные с полезной энергией $(M_k - M_f)\alpha$ или путем L_T , непригодны для определения силы тяги на выходе движителей. Это является достаточным доказательством ошибочности применения динамического радиуса для определения взаимосвязи между величинами M_k и P_k : ведь этот радиус не связан ни с полезной энергией $(M_k - M_f)\alpha$, ни с путем L_T , проходимым эластичным колесом.

Более обстоятельно данная проблема рассмотрена в монографии [1]. Там же вскрыты и причины, приведшие к неправомерному применению динамического радиуса в теории качения эластичного колеса.

Литература

1. Пожидаев С.П., Трояновская И.П., Шкаровский Г.В. Некоторые вопросы теории движения самоходных машин и агрегатов. – К.: Аграр Медиа Групп, 2016. – 412 с.