



• © С.П. Пожидаев, канд. техн. наук, доцент (НУБіП України)

К ВОПРОСУ О РАДИУСАХ ЭЛАСТИЧНОГО КОЛЕСА

Аннотация. Рассмотрена проблема, заключающаяся в отсутствии единого подхода к тому, какой радиус следует применять при определении силовых показателей работы колеса — динамический или радиус качения. Показано, что применение динамического радиуса противоречит закону сохранения энергии. Это является доказательством его ошибочности.

Ключевые слова: эластичное колесо, динамический радиус, радиус качения, закон сохранения энергии.

Анотація. Розглянуто проблему, що полягає у відсутності єдиного підходу щодо того, який радіус необхідно застосовувати при визначенні силових показників роботи колеса — динамічний чи радіус кочення. Показано, що застосування динамічного радіуса суперечить закону збереження енергії. Це є доказом його помилковості.

Ключові слова: еластичне колесо, динамічний радіус, радіус кочення, закон збереження енергії.

Annotation. Considered a problem in the absence of a unified approach in the theory of elastic wheel rolling motion of an elastic wheel to the effect what radius should be used when assessing characteristics — the loaded or effective rolling radius.

This paper shows that the application of the loaded radius contradicts the energy conservation law. This is proof of it's falsity.

Keywords: Elastic wheel, loaded radius, effective rolling radius, law of energy conservation.

Вступление

На транспортных средствах высокой проходимости широко применяются шины низкого и сверхнизкого давления, которые обеспечивают высокую проходимость в самых неблагоприятных условиях движения.

Их особенностью является значительная нормальная деформация и, как следствие, возможность существенного различия (до 15...25 % [1, с.13]), между значениями динамического радиуса r_d (расстояния от опорной поверхности до оси колеса) и радиуса качения r_k , рассматриваемого без учёта буксования или проскальзывания [2, пп. 27, 38]:

$$r_k = \frac{v_T}{\omega} \equiv \frac{L_T}{\alpha} \quad (1)$$

где v_T — продольная составляющая поступательной скорости движения без учёта буксования или скольжения;

ω — угловая скорость вращения колеса в плоскости его вращения;

L_T — продольная составляющая теоретического пути, пройденного колесом;

α — угол поворота колеса в плоскости его вращения.

Однако современная теория качения эластичного колеса не даёт однозначного ответа на вопрос о том, какой радиус следует применять при расчёте силовых показателей работы колеса.

А именно, авторы работ [1-5] и ряда др. для установления взаимосвязи между приложенными к колесу крутящим моментом M_k и силой тяги колеса P_k применяют радиус качения r_k , рассматриваемый без учёта скольжения или буксования.

Однако представители другой научной школы для тех же целей применяют динамический радиус колеса r_d [6; 7].

Это подрывает доверие к теории качения: любые результаты расчётов колёсных движителей можно оспорить, противопоставив им другие. Это свидетельствует о низком научном качестве теории качения.



Каждая из научных школ имеет вроде бы неоспоримые доказательства своей правильности. Однако наличие противоречия между ними даёт право предположить, что какая-то одна из них не является полностью корректной.

Основная часть

Целью исследования является уточнение теории качения эластичного колеса путём поиска некорректности в подходах той или иной научной школы.

Исследование №1. Предположим, что указанное выше противоречие является следствием различных методических подходов каждой из научных школ. Авторы работ [6; 7] рассматривают силовое равновесие колеса и изначально вводят в схему сил именно динамический радиус, который и перемещается в окончательный результат. А авторы работ [3; 4] рассматривают баланс мощности колеса, при составлении которого опираются на радиус качения, который в конечном счёте и перемещается в окончательный результат.

В этом случае представляет интерес поиск взаимосвязи между величинами M_k и P_k способом, который изначально не опирается ни на какой из радиусов колеса. Он должен привести к некоторому показателю взаимосвязи, который, возможно, будет представлять собой один из конкурирующих радиусов, что подтвердит правомерность применения этого и неправомерность применения другого радиуса. И такой методический подход возможен — это составление баланса энергий и работ, выполняемых равномерно движущимся колесом (рис. 1).

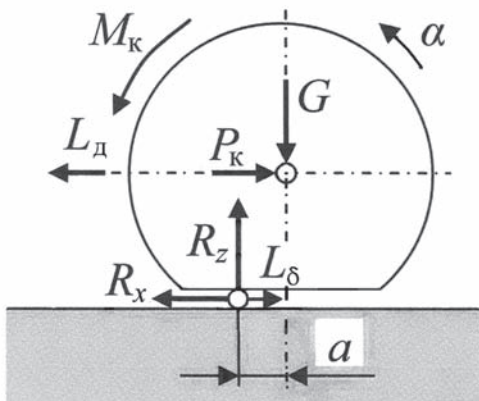


Рис. 1. К составлению уравнения баланса энергий и работ

Подвод энергии осуществляется крутящим моментом M_k , поворачивающим колесо в плоскости его вращения на некоторый угол α . Значение этой энергии (работы) равно $M_k \alpha$. Упомянутый поворот колеса сопровождается по крайней мере одним из двух таких явлений:

- некоторым действительным поступательным перемещением колеса L_d ;
- некоторым пробуксовыванием колеса L_δ , которое представляет собой поступательное перемещение протектора шины относительно опорной поверхности в направлении, противоположном теоретической скорости движения.

На пути действительного перемещения L_d колесо выполняет полезную работу $L_d P_k$.

На пути буксования L_δ рассеивается энергия $L_\delta R_x$, где R_x — продольная реакция дороги. Данная реакция численно равна силе тяги колеса P_k вследствие чего рассеиваемая энергия может быть записана в виде $L_\delta P_k$.

В процессе преодоления момента сопротивления перекачиванию $R_z a$ колесо выполняет работу $R_z a \alpha$.

Таким образом, баланс энергий и работ, выполняемых колесом, имеет вид:

$$M_k \alpha = P_k (L_d + L_\delta) + R_z a \alpha.$$

Однако сумма величин L_d и L_δ представляет собой теоретический путь поступательного перемещения колеса L_T , вследствие чего баланс энергий и работ принимает вид:

$$M_k \alpha = P_k L_T + R_z a \alpha. \quad (2)$$

Из баланса (2) следует соотношение:

$$M_k = P_k \frac{L_T}{\alpha} + R_z a, \quad (3)$$

свидетельствующее о том, что показателем взаимосвязи между крутящим моментом колеса M_k и его силой тяги P_k является некоторая величина $\frac{L_T}{\alpha}$. Согласно определению (1) эта величина представляет собой радиус качения колеса r_k , но не динамический радиус r_d . Т.е. динамический радиус r_d не является показателем упомянутой взаимосвязи, что подтверждает некорректность его применения.

Исследование №2. Равенство (3) вытекает из баланса энергий и работ, подчинённого закону сохранения энергии; а альтернативное равенство (содержащее динамический радиус) противоречит равенству (3), т.е. противоречит закону сохранения энергии. Один этот факт является достаточным основанием для признания некорректности применения динамического радиуса [8, с. 63].

Исследование №3 заключается в численной проверке баланса (2) на предмет того, действительно ли он, как утверждается в предыдущем пункте, не соблюдается в случае применения динамического радиуса. Предположим, что имеем колесо со следующими параметрами и показателями нагружения: радиус качения $r_k = 1,0$ м, динамический радиус r_d может быть любым, не равным радиусу качения, мы примем его равным 0,8 м, крутящий



момент $M_k = 10 \text{ Н}\cdot\text{м}$, угол поворота колеса в плоскости вращения $\alpha = 1,0 \text{ рад}$, нормальная реакция дороги $R_z = 20 \text{ Н}$, продольный снос нормальной реакции $a = 0,1 \text{ м}$.

В соответствии с (1) значение теоретического пути $L_T = r_k \alpha = 1,0 \text{ м}$, а в соответствии с применяемым в работах [6; 7] соотношением $M_k = P_k r_d + R_z a$ значение силы тяги колеса P_k равно $(M_k - R_z a) / r_d = (10 - 20 \cdot 0,1) / 0,8 = 10,0 \text{ Н}$.

Подстановкой всех полученных значений в баланс (2) получаем:

- левая часть баланса (энергия, подведенная к колесу) равна $10,0 \text{ Дж}$;
- правая часть (работа, выполненная колесом) – 12 Дж .

Баланс не соблюдается: получено, что колесо, расчёт которого производится с применением динамического радиуса, меньшего чем радиус качения, представляет собой источник даровой энергии (вечный двигатель), что, как известно, невозможно. Если же принять, что динамический радиус является бóльшим, чем радиус качения, то получаем, что колесо представляет собой “чёрную дыру”, в которой энергия бесследно исчезает.

Соблюдение баланса (2) обеспечивается только в одном-единственном случае – когда сила тяги колеса P_k равна $8,0 \text{ Н}$, что достигается при вычислении её с применением радиуса качения r_k .

Возможно и ещё одно исследование, самое элементарное, но тоже достаточно убедительное. Авторы работ [6; 7] полагают следующее:

а) показателем взаимосвязи между крутящим моментом колеса M_k и его силой тяги P_k является динамический радиус колеса r_d ;

б) показателем взаимосвязи между угловой скоростью вращения колеса ω и продольной составляющей его теоретической поступательной скорости V_T является радиус качения r_k .

Это означает, что в процессе изменения значений радиусов колеса (неизбежных при изменении нормальной нагрузки) сила тяги P_k изменяется по закону, определяемому законом изменения динамического радиуса r_d , а поступательная скорость v_T – по закону изменения радиуса качения r_k .

Однако это противоречит “золотому правилу” механики, которое является следствием из закона сохранения энергии и гласит: во **сколько раз** мы проигрываем в скорости, во **столько же раз** выигрываем в силе. В соответствии с этим правилом в качестве показателя взаимосвязи в обоих пунктах должен применяться **один и тот же радиус**, но это требование, как видим, не соблюдается.

Для выяснения того, какой же радиус должен применяться в пп. а) и б), учтём, что пункт б) является прямым следствием из определения радиуса качения (1), что вынуждает нас признать его истинным.

Отсюда следует вывод о том, что в соответствии с “золотым правилом” механики показателем взаимосвязи между крутящим моментом колеса M_k и его силой тяги P_k должен быть тот же радиус, что и в п. б), т.е. радиус качения колеса r_k . Динамический радиус колеса r_d в соответствии с “золотым правилом” механики не может быть показателем упомянутой взаимосвязи, вследствие чего его применение следует полагать некорректным.

Выводы

Применение динамического радиуса в теории качения эластичного колеса противоречит закону сохранения энергии и следствиям из него, по этой причине такое применение должно быть признано некорректным.

Научная школа теории качения, опирающаяся на радиус качения колеса r_k и представленная в стандарте ГОСТ-17697-72, безупречна с точки зрения закона сохранения энергии. Научная школа, опирающаяся на динамический радиус r_d , таковой не является.

Что касается причины, которая привела авторов работ [6; 7] к ложному выводу о возможности применения динамического радиуса колеса, то это представляет собой интересную научную задачу для дальнейшей работы.

При расчётах колёсных движителей, у которых динамический радиус несущественно отличается от радиуса качения, можно применять как динамический, так и радиус качения. Однако при расчетах движителей, у которых упомянутые радиусы существенно различаются, применение динамического радиуса будет приводить к существенным ошибкам конечного результата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петрушов В.А., Шуклин С.А., Московкин В.В. Сопrotивление качению автомобилей и автопоездов. – М.: Машиностроение, 1975. – 225 с.
2. ГОСТ 17697-72. Автомобили. Качение колеса. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1972. – 24 с.
3. Смирнов Г. А. Теория движения колёсных машин. – М.: Машиностроение, 1981. – 271 с.
4. Гришкевич А.И. Автомобили. Теория. Мн. – Высшая школа, 1986. – 208 с.
5. Шабаров А.А. Отдельные вопросы процесса равномерного качения ведущего пневматического колеса // Труды НАТИ. – 1971. – Вып. 212. – С. 3-30.
6. Тракторы. Теория. / В. В. Гуськов, Н. Н. Велев, Ю. Е. Атаманов [и др.]; под ред. В.В. Гуськова. – М.: Машиностроение, 1988. – 376 с.
7. Кутьков Г. М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. – М.: КолосС, 2004. – 504 с.
8. Иродов И.Е. Основные законы механики. – М.: Высшая школа, 1978. – 240 с.