

О ФАКТОРАХ ИЗНОСА ВРАЩАТЕЛЬНЫХ ПАР РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Для современных изделий машиностроения их моральный износ, как правило, не уступает износу физическому, а зачастую и превосходит его. В таких условиях целью применения упрочняющих технологий является обеспечение надежного функционирования изделия в течение номинального срока его эксплуатации. Это достигается в первую очередь обеспечением одинакового ресурса работы всех узлов и сопряжений машинного агрегата. Аналогичное требование может быть сформулировано и для отдельных быстроизнашивающихся пар трения, лимитирующих ресурс работы определенной машины: наибольшая долговечность трибосопряжения имеет место при равномерном изнашивании по всей поверхности трения. Повышенный локальный износ в большинстве случаев ведет к потере работоспособности пары в целом. Чем меньше номинальная площадь контакта трущихся деталей, тем в большей степени справедливо для нее данное предположение. К таковым следует отнести высшие пары зубчатых передач и кулачковых механизмов, а также вращательные пары рычажных механизмов, в которых из-за значительных зазоров площадь контакта в несколько раз меньше номинальной площади полуцилиндра.

В настоящее время исследованы механизмы изнашивания, имеющие место в подвижных сопряжениях машин, определены эмпирические зависимости, связывающие величину износа с кинематическими и силовыми параметрами. В общем случае при наиболее вероятных в кинематических парах механизмах изнашивания его интенсивность I характеризуется зависимостью /1/:

$$I = k \cdot p^m V^n, \quad (1)$$

где p – давление в контакте,
 V – относительная скорость в сопряжении,
 k , m и n – числовые коэффициенты.

Здесь давление в контакте является мерой напряженного состояния изнашиваемого участка поверхности. Относительная скорость скольжения является показателем, характеризующим усредненное время существования единичной фрикционной связи и, следовательно, продолжительность воздействия факторов износа.

Большинство механизмов работает в режиме установившегося периодического движения: в них происходит циклическое изменение внешних сил и передаточных функций. Это приводит к тому, что различные участки поверхностей трения нагружены неравномерно /2/. Существуют определенные участки, где значения наложенных друг на друга факторов износа – локальных напряжений и относительных скоростей скольжения – являются максимальными. Следовательно, в этих точка будет максимальной интенсивность изнашивания, и ресурс пары трения в целом будет лимитироваться ресурсом данного участка поверхности трения. Указанное явление следует учитывать при конструировании пар трения и при разработке технологий их восстановления-упрочнения. В частности целесообразно проводить упрочнение с заданным неравномерным распределением свойств по поверхностям трения в соответствии с эпюрами их износа так, чтобы более нагруженные участки обладали более высокой износостойкостью и наоборот /3/. Реализация такого подхода требует разработки алгоритмов расчета величины износа и интенсивности изнашивания, позволяющих количественно оценить влияние всех факторов износа. Эти факторы можно условно разделить на две группы: 1) зависящие от физико-механических свойств и состояния контактирующих по-

верхностей; 2) зависящие от кинематических характеристик и функциональных особенностей механизмов

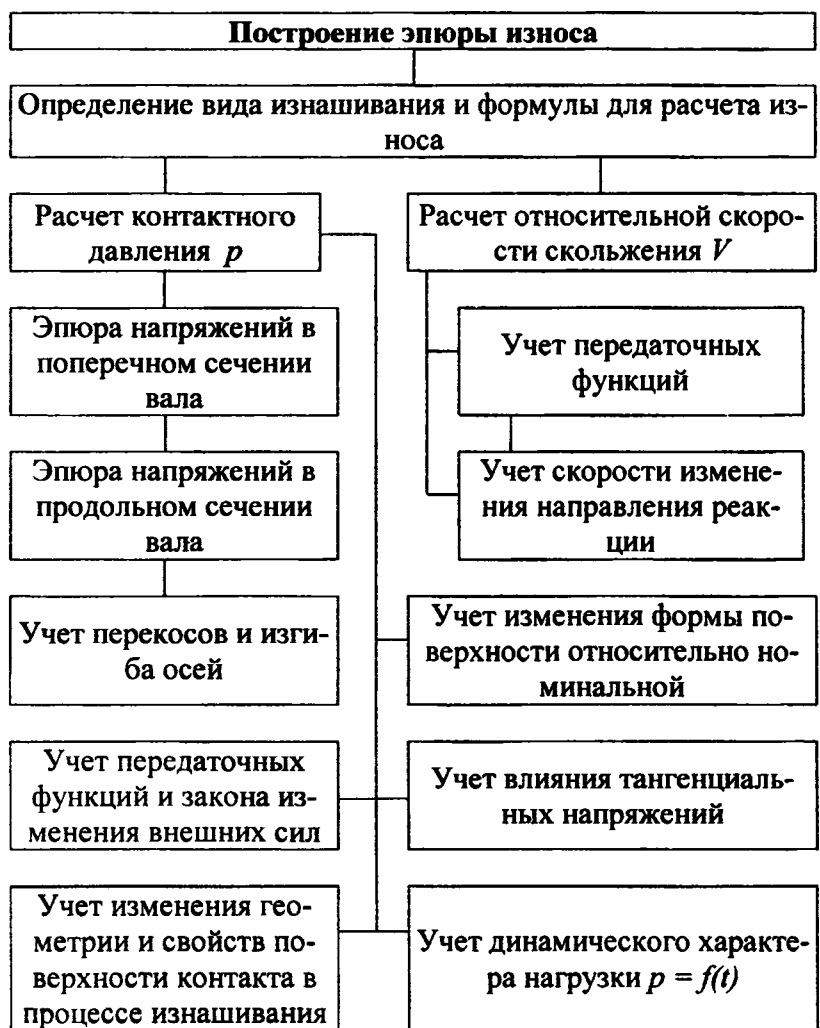


Рисунок 1- Схема расчета величины износа во вращательной кинематической паре

Факторы первой группы, такие как механические характеристики материалов поверхностей, фактическая площадь и реология контакта, шероховатость поверхностей, влияют преимущественно на величину контактного давления и подробно рассматриваются физикой и механикой твердого тела. В настоящее время получены сложные математические модели, позволяющие рассчитать напряженное состояние контактирующих поверхностей с высокой степенью точности [4]. Однако, этого недостаточно для расчета подвижных соединений.

Количество факторов износа и особенности их наложения друг на друга определяются конструкцией пары трения. Наиболее значимым представляется рассмотрение вращательных пар, так как им соответствует основной объем в номенклатуре деталей, подлежащих восстановлению и упрочнению. Для них предлагается следующая логическая схема расчета на износ (рис. 1).

Наблюдаемое интенсивное развитие триботехники позволяет предположить, что данная схема не является исчерпывающей, и в перспективе могут возникнуть дополнительные факторы, существенно влияющие на процесс изнашивания.

Динамический характер процесса изнашивания и неравномерное воздействие факторов износа на различные участки поверхности, обусловленные кинематикой и функциональными особенностями механизма, учитываются дискретностью расчета переменных величин. Для обеспечения наибольшей адекватности следует последовательно рассматривать элементарные участки сопряженных поверхностей трения по возможности с наименьшей площадью. Наиболее значимыми величинами являются значения реакции и относительной скоро-

сти скольжения между контактирующими поверхностями, а также изменением угла наклона реакции. Динамика изменения последнего параметра ранее не исследовалась, в то время как он в наибольшей степени определяет длительность фрикционного воздействия на локальный участок каждой из поверхностей пары трения. Данное предположение подтверждается сопоставлением графиков относительной угловой скорости (ω_{21}) и угловой скорости изменения направления реакции во вращательной паре между коленчатым валом и шатуном (ω_{F21}), например, в двигателе внутреннего сгорания (рис. 2). Приведенные зависимости построены с учетом воздействия только инерционных нагрузок, которые в быстроходных механизмах сопоставимы или превосходят внешние движущие силы или силы полезного сопротивления. Принималось, что средняя скорость вращения кривошипа равна 100 рад/с, коэффициент неравномерности вращения – 0,01.

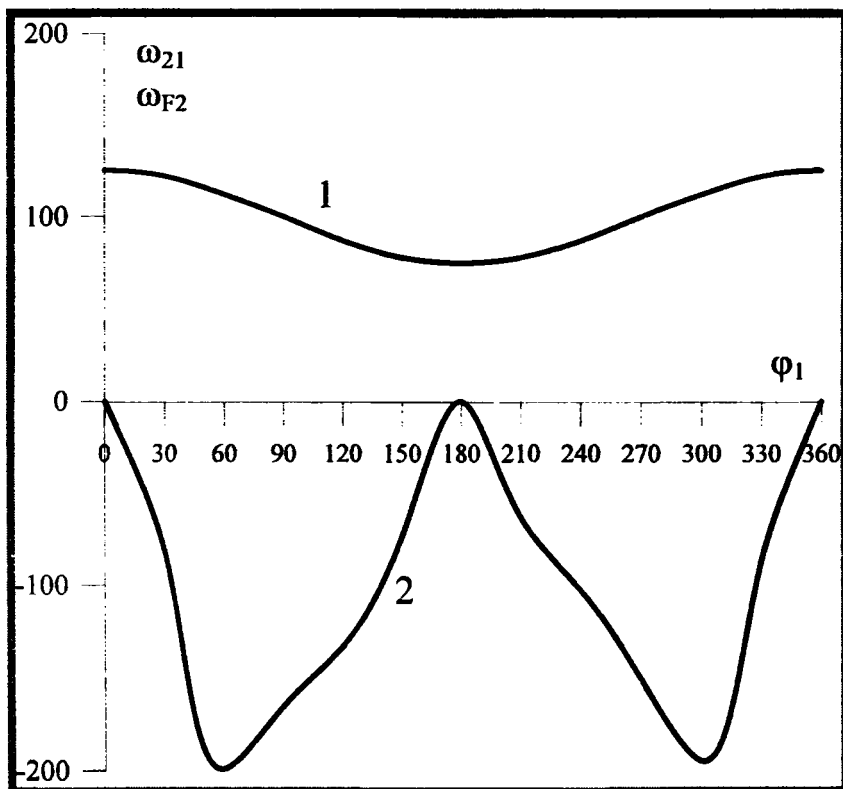


Рисунок 2- Зависимость скоростных факторов износа во вращательной паре «кривошип – шатун» от угла поворота кривошипа
 1 – относительная угловая скорость ω_{21} ;
 2 – скорость поворота вектора реакции ω_{F21}

Согласно проведенным расчетам максимальные значения относительной угловой скорости связаны со средней скоростью вращения кривошипа зависимостью

$$\omega_{21 \max} \approx \left(1 + \frac{l_1}{l_2} \right) \cdot \omega_{1cp}, \quad (2)$$

то есть в реальных механизмах превышают значения ω_{1cp} на 15...30 %. При этом максимальные по модулю значения скорости поворота вектора реакции $\omega_{F21 \max}$ – превышают ω_{1cp} более чем в два раза. Так как параметры ω_{21} и ω_{F21} имеют разные знаки, пренебрежение скоростью поворота реакции приводит к многократной ошибке в оценке продолжительности воздействия факторов износа на локальном участке. При этом следует отметить, что эти два параметра характеризуют различные относительные перемещения и не могут алгебраически складываться друг с другом. Вопрос о степени влияния на процесс изнашивания скорости поворота реакции во вращательной паре требует дополнительного анализа и проверки экспериментальными исследованиями. Предположительно формулу (1) для расчета интенсивности изнашивания вращательных пар рычажных механизмов следует представить в виде

$$I = k \cdot p^m \omega_{21}^n \omega_{F21}^q r \quad (3)$$

где q – числовой коэффициент,
 r – номинальный радиус вращательной пары.

Характер зависимости ω_{F21} от угла поворота кривошипа φ_1 меняется с изменением коэффициента неравномерности движения, но при этом не изменяется амплитуда колебаний значений параметра. Изменение координаты центра масс шатуна и соотношения длин кривошипа и шатуна l_1/l_2 приводит к изменению и формы кривой, и соотношений максимальных значений аналога скорости поворота реакции $\omega_{F21\max}/\omega_{1\text{ср}}$. Скорость поворота реакции существенно уменьшается с приближением центра масс шатуна к исследуемой вращательной паре, а также с увеличением длины шатуна относительно кривошипа.

При учете внешних сил, изменяющихся по разнообразным законам, в графике зависимости $\omega_{F21}(\varphi_1)$, как правило, появляются разрывы, что свидетельствует о скачкообразном изменении направления реакции. Это позволяет определить участки поверхностей трения, подверженные ударным нагрузкам. Для них вид изнашивания может отличаться от вида изнашивания прочих участков поверхности сопряжения, и для них следует применять иные формулы расчета величины износа и интенсивности изнашивания.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Трение, износ и смазка: (Трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун и др.; Под общ. ред. Чичинадзе А.В. - М.: Машиностроение, 2003. – 575 с. 2. Повышение долговечности трущихся элементов вращательных кинематических пар механизмов машин на основе моделирования их износа / Филонов И.П., Анципорович П.П., Акулич В.К., Булгак Т.И. // Современные методы проектирования машин: Респ. межведомств. сб науч. тр. Вып. 2 В 7 томах. Т. 4. / под общ. Ред. П.А. Витязя. – Мн.: УП «Технопринт», 2004. – С. 127 – 132. 3. Патент 2107902 С1 РФ, МКИ G 01 N 3/56. Способ повышения долговечности деталей подвижных соединений механизмов машин / И.П. Филонов, А.А. Черкас. – № 5030070/28; Заявл. 27.02.92; Оpubл. 27.03.98, Бюл. № 9. 4. Кравчук А.С., Чигарев А.В. Механика контактного взаимодействия тел с круглыми границами. – Мн.: Технопринт, 2000. – 196 с.

УДК 621.878

Пахарев Д.В., Соломевич П.А., Кравчук А.С., Карпыза С.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭКСКАВАТОРА-ПОГРУЗЧИКА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

*Белорусский национальный технический университет
 Минск, Беларусь*

1. Введение. Увеличение доли рассредоточенных объектов с малыми объемами строительства в 1960-х годах стало причиной интереса машиностроителей к созданию многоцелевых землеройных агрегатов - экскаваторов-погрузчиков (в обиходе - бэклодеров). На строительной площадке и в коммунальном хозяйстве они способны заменить сразу несколько специализированных машин. Их применение заметно повышает эффективность использования базовой машины благодаря сокращению простоев и экономии средств на приобретение и эксплуатацию универсальных землеройно-погрузочных агрегатов [1].