

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ НА ПОТЕРИ МОЩНОСТИ ВО ВРАЩАТЕЛЬНЫХ ПАРАХ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ

к.т.н. Авсиевич А.М., Пронкевич С.А., студ. Балышева Н.О., студ. Михальков С.Л.

Белорусский национальный технический университет, Минск

Снижение потерь механической энергии приводит не только к повышению общей энергоэффективности машинного агрегата, но и существенно повысит ресурс его узлов ввиду уменьшения интенсивности изнашивания поверхностей пар трения. В качестве критериев, определяющих потери энергии и относительную износостойкость элементов кинематических пар, можно принять работу или мощность трения, выделяемую на элементарном участке поверхности, во всей паре трения и в машинном агрегате в целом за один цикл его работы.

Согласно проведенному нами ранее анализу [1] работа трения, совершаемая в i -й момент цикла на j -м элементе поверхности, пропорциональна произведению напряжения на элементарный угловой путь $A_{трj} \cong \sigma_j \Delta\varphi_{21i}$, а мощность соответственно $P_{трj} \cong \sigma_j \omega_{21i}$, где $\Delta\varphi_{21i}$ – элементарный путь трения для данного i -го момента цикла работы, ω_{21i} – относительная угловая скорость звеньев 1 и 2 в i -й момент цикла. Для оптимизации конструкции и режимов работы необходимо рассчитывать работу или мощность трения во всех подвижных сопряжениях механизма, что является весьма трудоемкой задачей, реализуемой только с помощью специального программного обеспечения.

В данной работе предлагается методика сравнительной оценки потерь мощности и расчета распределения интенсивности изнашивания поверхностей трения на примере шатунных шеек коленчатого вала двигателя Д-242. В результате динамического анализа рычажного механизма с определением ориентацией векторов сил реакции относительно подвижных звеньев согласно [2] нашли, что характерные нагрузки на шатунные шейки при разных режимах работы находятся в пределах от 10 до 100 кН. При решении задачи Штаермана о поиске контактных напряжений при внутреннем контакте цилиндра с круговой полостью по методике [3] определили, что зона контакта, испытывающая давления более 1 МПа, находится в диапазоне от 15 до 25 градусов и практически не зависит от зазора в паре трения. При таком изменении углов контакта для разных значений сил реакций и выполнении динамического анализа за весь цикл с малым шагом расчетов по обобщенной координате в качестве характеристики потерь мощности на трение допустимо принять произведение силы реакции в паре трения на относительную угловую скорость звеньев $F_{12} \cdot \omega_{21}$. На графиках (рис. 1) показаны результаты расчета данного параметра в зависимости от обобщенной координаты механизма – угла поворота коленчатого вала. В четырехтактном двигателе обобщенная координата изменяется от 0 до 720 градусов. Внизу иллюстраций на рис. 1 приведено суммарное значение показателя $F_{12} \cdot \omega_{21}$ за полный цикл работы.

Анализ результатов показывает, что нагруженность шатунных шеек при скоростях вращения коленчатого вала до 200 рад/с определяется изменением давлений в двигателе, а суммарный показатель $F_{12} \cdot \omega_{21}$ увеличивается пропорционально росту угловой скорости начального звена ω_1 . С дальнейшим увеличением ω_1 он увеличивается в виде квадратичной зависимости, что обусловлено ростом сил инерции и их определяющим влиянием на величину реакции в паре трения. Также с ростом ω_1 увеличивается количество положений механизма, в которых показатель $F_{12} \cdot \omega_{21}$ достигает пиковых значений, при этом различия в нагруженности шатунной шейки в разных положениях уменьшаются.

Для определения наиболее нагруженных участков поверхности шатунных шеек необходимо знать, под каким углом к оси звена приложена сила реакции. Направление силы, приложенной к шатунной шейке отсчитывалось против часовой стрелки относительно оси X1. При динамическом анализе угол наклона реакции задается относительно звена, к которому реакция приложена, а при расчете напряжений должна быть указана координата точки приложения силы к цилиндрической поверхности вала (рис. 2). Поэтому для расчета контактных давлений на шатунной шейке коленчатого вала ОА необходимо с соответствующими значениями силы реакции указывать расчетные углы φ_{F21} , а не φ_{F12} . Графики координат точки приложения реакции приведены на рис. 3.

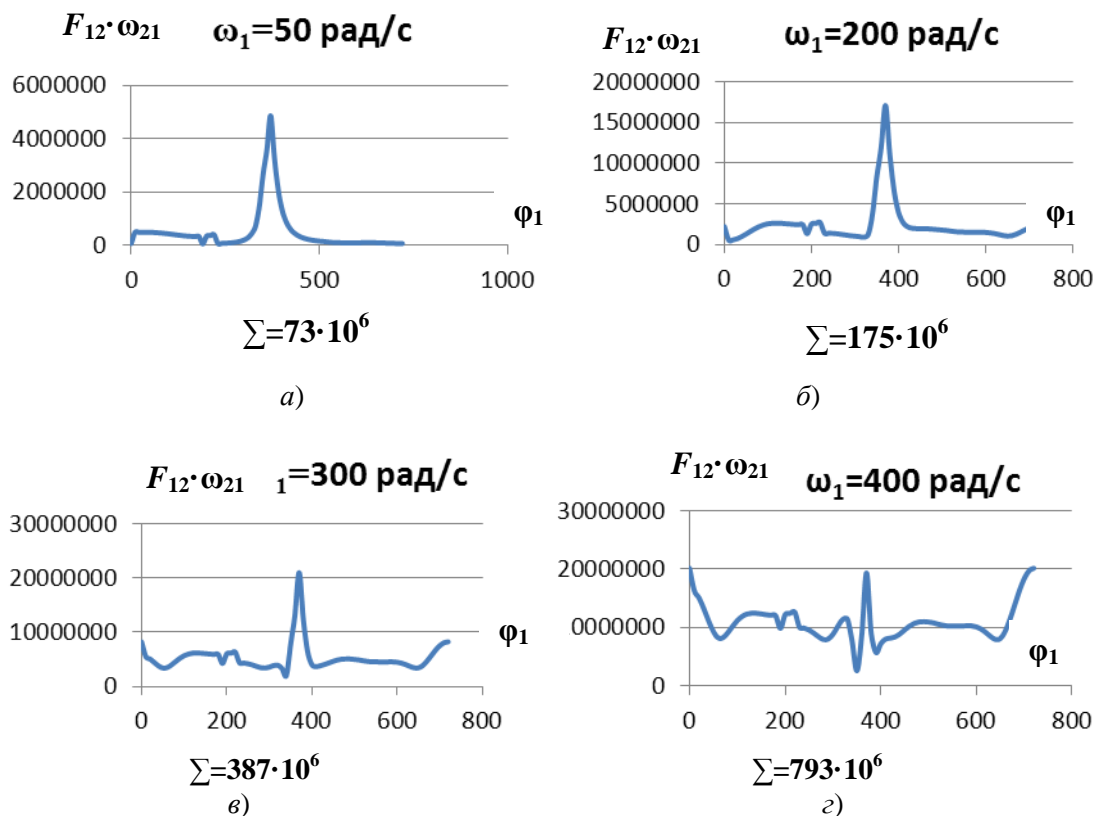


Рисунок 1. – Зависимость характеристики нагруженности пары трения «шатунная шейка коленчатого вала – вкладыш» от обобщенной координаты механизма при средних скоростях вращения коленчатого вала: а) 50 рад/с; б) 200 рад/с; в) 300 рад/с; г) 400 рад/с

Из рисунка 3 видно, что при разных скоростях вращения коленчатого вала наиболее нагруженными являются участки поверхности шатунных шеек в интервале координат $150^{\circ} - 200^{\circ}$. Для них характерен наибольший путь трения. Сопоставляя графики на рис. 1 и 3, видим, что при скорости вращения 200 рад/с максимальные мгновенные нагрузки испытывает участок поверхности с координатами около $0^{\circ} - 20^{\circ}$, что соответствует моменту детонации топливной смеси в начале такта расширения. С увеличением скорости вращения коленчатого вала на величину сил реакции большее значение оказывают силы инерции. В результате почти на всем отрезке цикла работы машины нагрузку воспринимает участок шатунной шейки с координатами $180 \pm 20^{\circ}$.

Изменение конструктивных параметров механизма – соотношения длин кривошипа и шатуна, а также смещение центра масс шатуна относительно оси шатунной шейки – не сказывается существенно на форме зависимостей $F_{12} \cdot \omega_{21}(\varphi_1)$ и $\varphi_{F_{21}}(\varphi_1)$. Суммарные показатели нагруженности за цикл $F_{12} \cdot \omega_{21}$ увеличиваются при приближении центра масс шатуна к оси шатунной шейки, что связано с увеличением в данном случае моментов сил инерции шатуна и его влиянием на величину реакции.

Полученные данные позволяют в дальнейшем разработать конструктивные решения, обеспечивающие повышение ресурса и уменьшение потерь на трение в двигателе. Предлагаемые методики расчета могут быть применены для исследования нагруженности кинематических пар не только рычажных, но и зубчатых, кулачковых и иных видов механизмов.

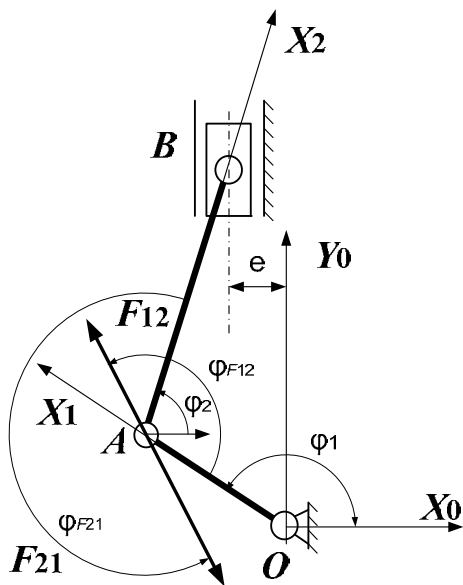


Рисунок 2. – Привязка сил реакций во вращательной паре A к звеньям кривошипно-ползунного механизма

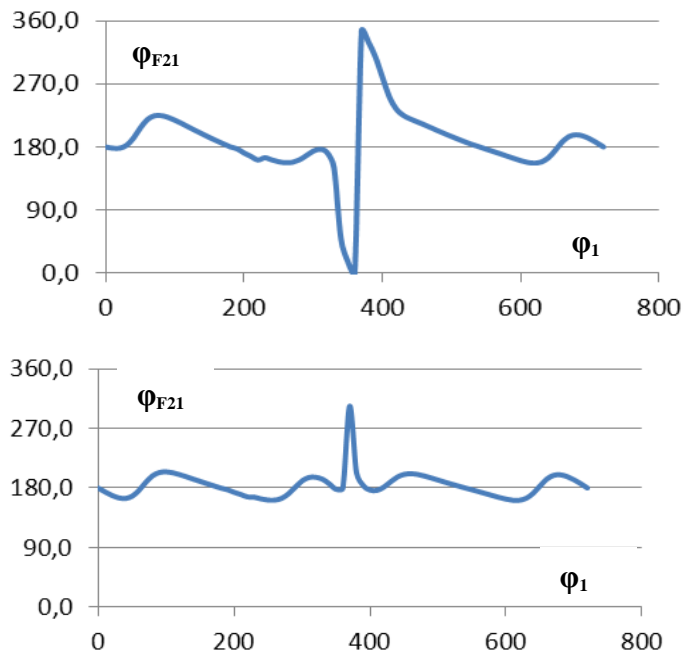


Рисунок 3 – Значения угловой координаты приложения силы реакции к шатунной шейке в зависимости от обобщенной координаты механизма при средних угловых скоростях коленчатого вала: а) 200 рад/с; б) 400 рад/с

РЕЗЮМЕ

Показателем, определяющим распределение по поверхности интенсивности изнашивания и потерь на трение за цикл работы можно принять произведение силы реакции на относительную скорость звеньев. С увеличением скорости вращения начального звена рычажного механизма показатель нагруженности увеличивается в квадратичной зависимости, что обусловлено ростом сил инерции и их влиянием на силы реакции. При этом зона нагружения для шатунных шеек коленчатого вала локализуется на участке вблизи линии, проходящей через оси шеек.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авсиевич А.М., Пронкевич С.А., Балышева Н.О., Хват А.В., Иванов А.Ю. Моделирование нагруженности элементов вращательных кинематических пар Теоретическая и прикладная механика. Международный научно-технический сборник. Вып. 28. Мн.: БНТУ, 2013. – С. 173 – 177.
2. Анципорович П.П., Акулич В.К., Дубовская Е.М. К вопросу об определении износа во вращательных кинематических парах рычажных механизмов // Теоретическая и прикладная механика. Межведомственный сборник научно-методических статей. Вып. 23. – Мн.: БНТУ, 2008 – С. 178 – 181.
3. Александров В.М., Ромалис Б.Л. Контактные задачи в машиностроении / В.М. Александров, Б.Л. Ромалис – М.: Машиностроение, 1986. – 176 с.

SUMMARY

The indicator loading distribution and friction losses on surface for the cycle of works is the product of reaction forces at relative speed links. With increase of leverage main link rotation speed it increases in the square-law dependence, due to the rising forces of inertia. Area of loading for the connecting rod crankshaft is localized to the area near to a line passing through the axis of necks.

Поступила в редакцию 03.06.2013