

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ НА ИЗНОС ПОДВИЖНЫХ УЗЛОВ САМОЛЕТНЫХ АГРЕГАТОВ С УЧЕТОМ ПРЕДЕЛЬНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ ПО УСЛОВИЯМ ТРЕНИЯ

Подвижные узлы в самолетных агрегатах обладают наименьшим ресурсом. Особенно часто отказы проявляются в шарнирах шасси, работающих в условиях высоких удельных давлений при знакопеременных пути в зоне трения.

В таких узлах преждевременное разрушение поверхностей трения проявляется в процессе эксплуатации очень рано. Так, на региональных самолетах большим числом взлето-посадок, (рис.1), проблемы с подвижными узлами шасси проявились ещё до достижения одной тысячи взлетов-посадок до достижения одной тысячи взлетов-посадок. При этом следует отметить, что чрезмерный износ в таких узлах наступает раньше усталостных разрушений их деталей.

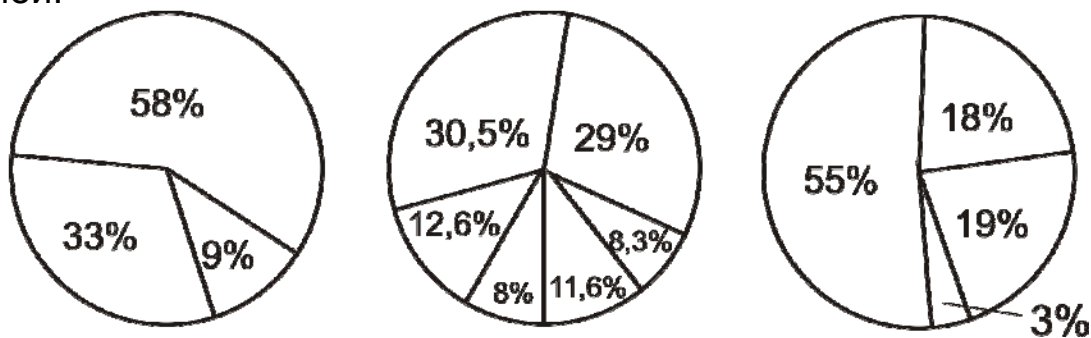


Рисунок 1 – Распределение отказов по агрегатам самолета Як-40 [1]:
 а – по агрегатам: 58% – в шасси, 33% – в планере самолета, 9% – в механической части системы управления; б – в силовых элементах шасси: 30,5% – износ в подвижных сочленениях, 29% – трещины, 12,6% – фреттинг-коррозия, 8% – наклеп, 11,6% – заедание, задиры, разбалтывание; в – в подвижных узлах шасси: 55% – износ, вызванный истеранием, пластическим деформированием, 23% – износ в малоподвижных сочленениях (фреттинг-коррозия), 3% – износостойкие усталостные выкрашивания, 19% – прочие виды износа

Аналогичные виды отказов наблюдается и у других типов самолетов и в других агрегатах.

Причин появления таких негативных процессов в узлах трения несколько [1], а менее изученными являются следующие:

– недостаточная изученность влияния на долговечность неравномерности погонных усилий Q_{max} в зонах трения, обусловленных кососимметричным нагружением узла (рис. 1).

– отсутствие учета влияния изменения вектора внешней нагрузки (q_φ) на долговечность подвижного звена.

С учетом приведенных обстоятельств целью данной работы является разработка расчетных моделей, позволяющих на этапе проектирования подвижного узла выбрать его параметры и схемы изнашивания с учетом их влияния на долговечность в условиях передачи узлом кососимметричных и нестационарных внешних нагрузок.

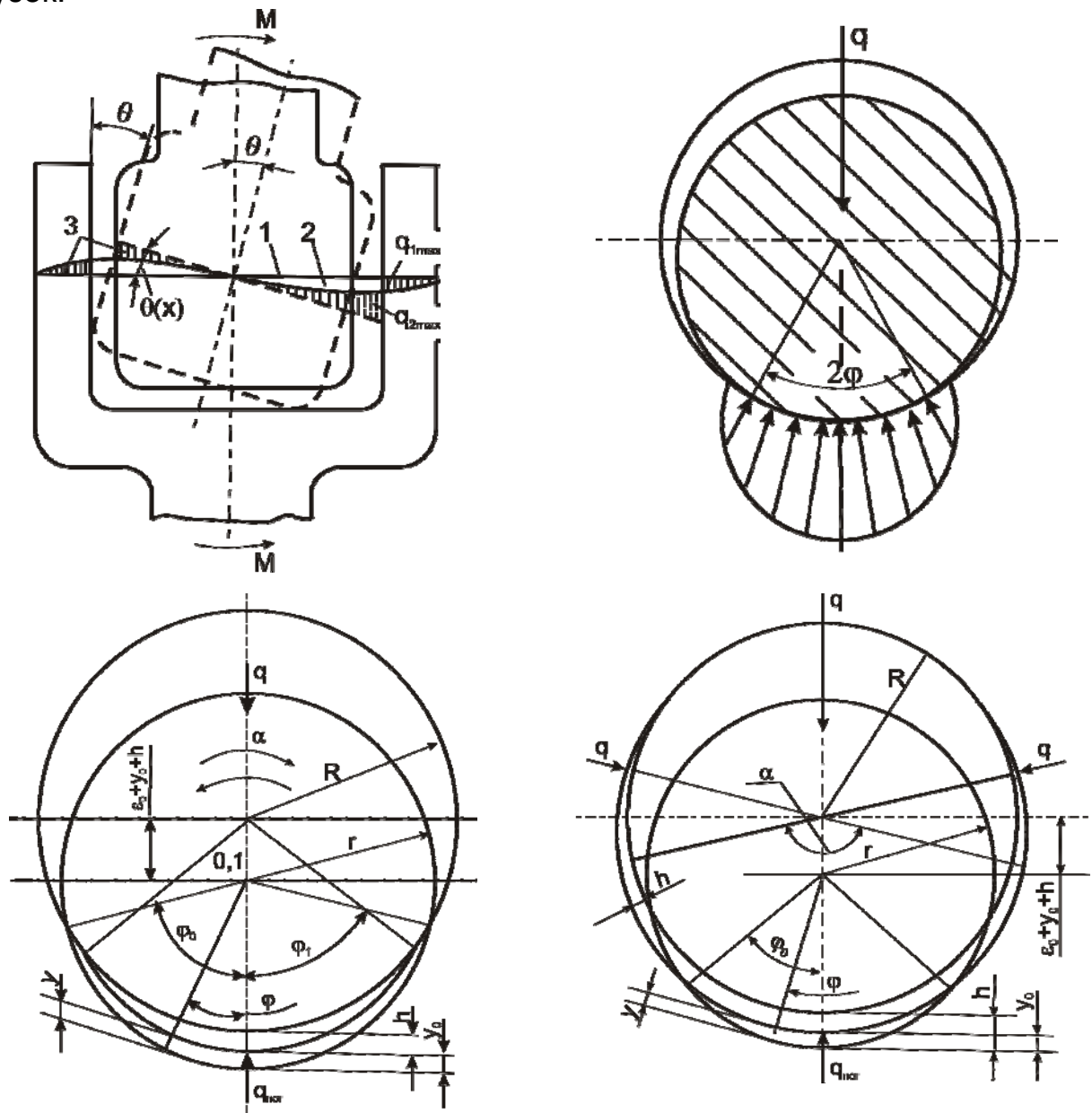


Рисунок 2 – Модели нагружения и изнашивания поверхностей трения в подвижных самолетных узлах:

\bar{q} – вектор удельных давлений в узле; R и r – внутренний и внешний радиусы сопрягаемых поверхностей; α – угловое смещение поверхностей трения; ϵ_0 – начальный зазор, обусловленный сборкой узла

Износ подвижных узлов с учетом предельных ограничений по условиям трения

Предельными ограничениями по условию несущей способности является условие [2]

$$\alpha_q^M \rho_p \leq \rho_{пр}, \quad (1)$$

где $\rho_{пр}$ – предельно допустимые локальные удельные давления в зоне трения подвижного узла; ρ_p – расчетное удельное давление, заложенное при проектировании подвижного узла; α_q^M – коэффициент избыточности погонных усилий по образующей контакта цилиндрических тел, обусловленный кососимметричностью нагружения узла.

Приведенная формула (1) гарантирует работоспособность подвижного узла без схватываний и задиров, но не дает ответа на вопрос, какой, же при этом будет долговечность подвижного узла N до выработки в нем наперед заданного зазора h .

Для самолетных узлов, т.е. при знакопеременном пути трения в условиях высоких удельных давлений (до 200 МПа), закон изнашивания представим степенной зависимостью

$$J_{h\phi} = c \left(\frac{\rho_\phi}{\rho_{пр}} \right)^n, \quad (2)$$

где c и n – коэффициенты, определяемые на основе обобщения результатов испытаний реальных узлов на износ [3].

Поскольку рассматривается случай нестационарного нагружения, то

$$J_{h\text{ ср}} = \frac{c}{\rho_{пр}^n \cdot h_1} \cdot \int_0^h [\rho_{\max}(h)]^n dh. \quad (3)$$

Подставив в (3) ρ_{\max} из работы [3], а также проведя преобразование с учетом $u = \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_0 + y_0 + h}$, получим

$$J_{h\text{ ср}} = \frac{c \varepsilon_0 \rho_{ср}^n}{\rho_{пр}^n \cdot h_1 \cdot r^n} \cdot \int_\beta^\alpha \frac{du}{u^2 \left[\arccos u + u \sqrt{1-u^2} \right]^n}, \quad (4)$$

где $\alpha = \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_0 + y_0 + h_1}$; $\beta = \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_0 + y_0}$.

Интеграл, входящий в выражение (4), выполнялся через элементарную функцию, что позволило с точностью до 5 % записать выражение для определения долговечности подвижного узла, изнашиваемого по схеме «а»:

$$N^\alpha = \frac{h^2 p_{np}^n r^n \alpha^{c_2}}{c \varepsilon_o p_{cp}^n (\beta - \alpha) e^{-c, \alpha} L}, \quad (5)$$

где L – путь трения за одно угловое перемещение узла.

Выражение (5) позволяет расчетным путем определять долговечность подвижного узла с учетом неравномерности контактных давлений по углу φ .

Однако в узлах с кососимметричным нагружением существует значительная неравномерность погонной нагрузки и по образующей поверхности трения (см. рис. 2). Такой вид неравномерности принято оценивать α_q^M – коэффициентом избыточности погонных усилий. Если иметь в виду выражение (1), то условно (5) можно преобразовать к виду.

$$N^\alpha = \frac{\left[h - y_{cp} \left(\alpha_q^M \max - 1 \right) \right]^2 p_{np}^n r^n \alpha^{c_2}}{c \varepsilon_o p_{cp}^n (\beta - \alpha) e^{-c, \alpha} L} \quad (6)$$

где h_o – предельно допустимый износ в узле; c_2 – коэффициент, получаемый при раскрытии интеграла в выражении (4).

В узлах, изнашиваемых по схеме «б» (рис. 1), существенно изменяется величина p_{cp} , которая для такого случая должна быть определена по выражению

$$p_{cp}^b = \frac{1}{\phi_o h_1} \int_0^{h_1} \int_0^{\phi_o} h_\phi(\phi, h) d\phi dh. \quad (7)$$

Подставив в (7) значение p_ϕ , а также производя преобразование с

учетом $u = \frac{\varepsilon_o + h}{\varepsilon_o + y_o + h_1}$ получим

$$p_{cp}^b = \frac{p(\varepsilon_o + y_o)}{r \phi_o h_1} \int_\alpha^\beta \int_0^{\phi_o} \frac{\cos \phi - u^2 (u - 1) d\phi du}{(\arccos u - u \sqrt{1 - u^2})(u - 1)^2}, \quad (8)$$

где $\alpha = \frac{\varepsilon_o}{\varepsilon_o + y_o}$, $\beta = \frac{\varepsilon_o}{\varepsilon_o + y_o + h_1}$.

Выяснив с помощью элементарных функций величину интеграла, входящего в выражение (8), и подставив величину $\rho_{ср}^6$ в выражение (6), получим

$$N^6 = \frac{[h - y_{ср}(\alpha_q^M - 1)]}{LJ_{h\text{ ср}}}, \quad (9)$$

где h – предельно допустимый износ в узле по условиям его эксплуатации.

Рассматривать зависимость долговечности подвижного узла N^6 от предельно допустимого в эксплуатации зазора h .

Выражения (6) и (9) позволяют произвести прогнозирование ресурса подвижных узлов на этапах проектирования, а также прогнозирование остаточного ресурса подвижных предельно нагруженных узлов по результатам микрообмеров трущихся деталей при эксплуатации по «техническому состоянию». Кроме этого, они позволяют оценить влияние основных параметров подвижных узлов, схем изнашивания и нагрузки и на их ресурс. В качестве примера показаны результаты расчета долговечности узлов различных схем изнашивания при исходных данных: $n = 2$, $c = 0,007$, $E_0 = 0,12$ и $0,18$, $P_{пр} = 80$ МПа, $q_{лог} = 860$ Н/мм, $L_{-1} = 18$ мм, $r = 20$ мм, $G = 28,7$ ГПа, $\alpha_q^M = 1,2$, $\mu = 1$ Гц, $\alpha^0 = 75^\circ$, $y_{ср} = 0,03$ мм.

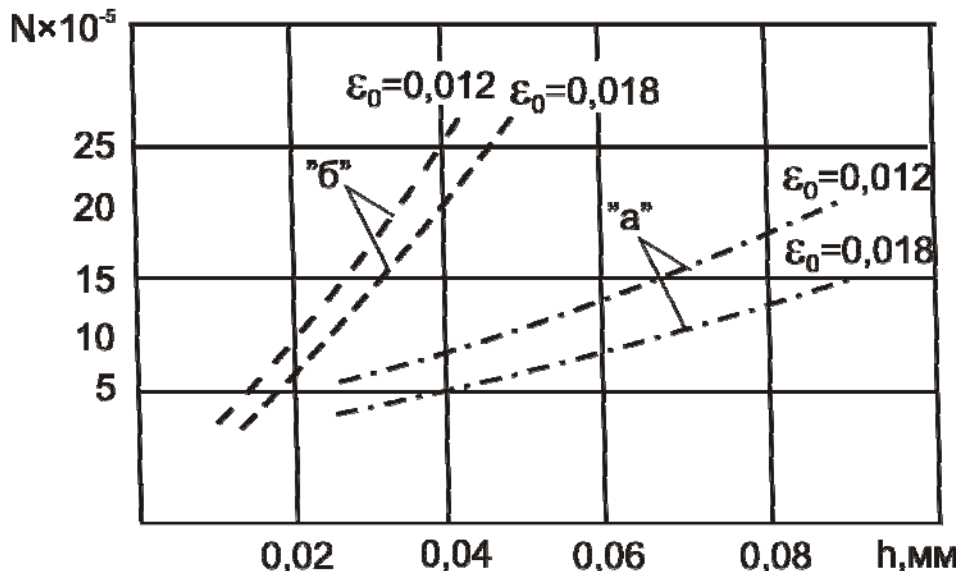


Рисунок 3 – Влияние моделей изнашивания («а» и «б»), начальных радиальных зазоров (E_0) и зазоров, образовавшихся в эксплуатации (h), на долговечность подвижного узла с парой БрАЖН 10-4-4 – хромированная сталь

Как видно из рис. 3, на долговечность узла существенное влияние оказывает схемы изнашивания «а» и «б». Так, при предельно допустимом в процессе эксплуатации зазоре $h = 0,025$ долговечность узла, работающего по схеме «б», почти в 3 раза выше, чем у узла со схемой работы типа «а».

Изначальный зазор ε_0 , обусловленный сборкой узла, также оказывает влияние на зависимость $N = f(h)$, причем в узлах со схемой «б» его влияние несколько больше.

Выводы

1. Предложены и проанализированы модели, позволяющие оценить долговечность подвижных узлов самолетных агрегатов, учитывающие малоисследованные параметры, такие, как кососимметричность и нестационарность нагружения узла, изменение вектора нагрузки, передаваемой узлом, и предельные ограничения по условиям трения в узле.

2. Влияние кососимметричности нагружения узла приводит к существенной неравномерности погонных усилий в зоне трения, которая учтена в модели оценки долговечности коэффициентом избыточности погонных усилий α_g^M , неизменно приводящим к уменьшению долговечности узла на износ.

3. Определено количественное влияние изменения положения вектора внешних сил, зазоров, образовавшихся при сборке и в процессе эксплуатации узла, на величину долговечности. Показано, что при переменном векторе внешней нагрузки долговечность узла на износ существенно выше.

4. Полученные модели позволяют уже на этапе проектирования узла учесть влияние вышеперечисленных факторов на долговечность и скооперировать его конструктивно-технологические параметры для достижения заданного ресурса.

Список использованных источников

1. Бойцов, Б. В. Комплексное исследование шасси самолета [Текст] / Б. В. Бойцов. – М.: Машиностроение, 1985. – 232 с.
2. Бычкова, Н. Н. Предельные параметры работоспособности покрытий в высоконагруженных шарнирных узлах самолетов [Текст] / Н. Н. Бычкова // Вопросы проектирования и производства самолетных конструкций: – сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та «ХАИ» – 2004. – Вып. 36(1) – С. 103 – 107
3. Гафнер, С. Л. К расчету угла контакта при внутреннем сопряжении цилиндрических тел, радиусы которых почти равны. машин

[Текст]: справ. пособие / С. Л. Гафнер, М. Н. Добычин // М.: Машиностроение, 1973. №2. – С. 69–75 с.

4. Панасюк, В. В. Определение контактных напряжений при внутреннем соприкосновении цилиндрических тел [Текст] / В. В. Панасюк, М. И. Теплый // Прикладная математика и механика. – 1971. – Вып 4. – Т.4.

5. Лось, А. В. оценка предельной несущей способности подвижных узлов при нестационарном нагружении [Текст] / А. В. Лось // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та „Харьк. авиац. ин-т”. – Вып. 62 – Х., 2013. – С. 5 – 12.

6. Волох, И.Н. Разработка методики и средств стендовых испытаний шарнирных узлов [Текст] / И. Н. Волох // Вопросы оптимизации самолетных конструкций: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та „Харьк. авиац. ин-т”. – Вып. 2. – Х., 1986.– С. 47 – 52.

Поступила в редакцию 10.03.2014.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.И. Рябков,
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.*