

Р. Л. Семенихин

ПРОЦЕСС ПРОВОРАЧИВАНИЯ ВКЛАДЫША СФЕРИЧЕСКОГО ПОДШИПНИКА НАКОНЕЧНИКА ДЕМПФЕРА НЕСУЩЕГО ВИНТА ВЕРТОЛЕТА И ЕГО ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ

R. L. Semenikhin

THE PROCESS OF TURNING THE INSERT WITH THE SPHERICAL BEARING END OF THE DAMPER BEARING SCREW OF THE HELICOPTER AND ITS PREVENTION

Аннотация. *Актуальность и цели.* В статье разработана математическая модель часто возникающей в эксплуатации неисправности несущей системы вертолета – проворачивание вкладыша сферического подшипника наконечника демпфера несущего винта вертолета, которое обнаруживается визуально по смещению метки, нанесенной на вкладыш подшипника и корпус наконечника демпфера. *Материалы и методы.* Математическая модель разработана на основе анализа вибрационного воздействия на корпус наконечника демпфера, принимая во внимание, что рассматриваемая система максимально нагружена в состоянии близком к возникновению земного резонанса. Данная модель показывает, что ведущую роль в этом процессе играет коэффициент трения в подшипнике. С увеличением этого коэффициента до критического значения и появляется данная неисправность. Причиной увеличения коэффициента трения в подшипнике является обеднение смазки с наработкой изделия. Процесс обеднения смазки с наработкой изделия необратим для широко применяемых в настоящее время в конструкции вертолетов наконечников демпферов несущего винта, имеющих сферические подшипники, не требующие смазки в эксплуатации. С целью повышения надежности несущей системы и исключения появления проворачивания вкладыша сферического подшипника в статье рассматривается возможность использования наконечников демпферов несущего винта, требующих периодической смазки в эксплуатации. Для выбора наиболее подходящего наконечника демпфера несущего винта из имеющих одинаковые характеристики по нагрузкам предложены и научно обоснованы новые коэффициенты, оценивающие эффективность и рентабельность этих изделий. *Результаты и выводы.* Результаты, полученные в работе, могут быть рекомендованы разработчикам вертолетов для проектирования несущих систем вертолетов и для доработок в эксплуатации с помощью внедрения обязательных сервисных бюллетеней.

Abstract. *Background.* There is the mathematical model developed in this article for often appeared malfunction of helicopter main rotor – helicopter main rotor damper rod end spherical bearing rotation, which is detected visually by misalignment of the mark on the outer race of bearing and the damper rod end. *Materials and methods.* The mathematical model is developed on basic vibration impact to the damper rod end, taking into account that the considering system is maximally loaded in condition close to origin of ground resonance. This model shows that lead role in this process has the coefficient of friction inside the bearing. When this coefficient increases till its critical meaning, that malfunction appears. The coefficient of friction inside the bearing increases because of the lubricant depletes during the part operates. The process of the lubricant depletion during the operation is irreversible for wide using at this time the main rotor rod ends with spherical bearings which don't require periodical lubrication. In order to improve reliability of helicopter main rotor and exclusion spherical bearing rotation, in this article considered the possibility to use main rotor rod ends which require periodical lubrication during operation. In order to select the most suitable main rotor rod end from items having the same load characteristics, new coefficients were proposed and scientifically substantiated to evaluate the efficiency and profitability of these parts. *Results and conclusions.* The results of the work could be recommended to helicopter design organizations for designing of main rotors and modifying of main rotors in operation by mandatory service bulletin issuing.

Ключевые слова: несущий винт, вертолет, демпфер несущего винта, сферический подшипник, математическая модель, проворачивание вкладыша подшипника.

Key words: Main rotor, helicopter, main rotor damper, spherical bearing, mathematical model, bearing rotation.

Введение

Несущая система вертолета (лопасти, втулка с демпферами несущего винта (НВ)) является важнейшей системой вертолета, отказы и неисправности которой непосредственно влияют на безопасность полетов. Поэтому к надежности этой системы применяются самые высокие требования.

Проворачивание вкладыша подшипника в корпусе наконечника демпфера несущего винта вертолета – одна из наиболее часто возникающих неисправностей несущей системы вертолетов в эксплуатации. Данная неисправность легко обнаруживается визуально по смещению метки, нанесенной на вкладыш подшипника и корпус наконечника демпфера несущего винта. Однако устранение данной неисправности трудоемко, так как требует замены наконечника демпфера НВ путем демонтажа и обратного монтажа всего демпфера НВ в сборе.

Причиной такой неисправности может быть нарушение допусков и посадок при изготовлении наконечников демпфера, но наиболее вероятной причиной является обеднение смазки подшипника в эксплуатации. Это приводит к увеличению сил трения вплоть до проворачивания вкладыша.

Постановка задачи

Рассмотрим широко применяемые на современных вертолетах втулки НВ с эластомерным подшипником (рис. 1). Эластомерный подшипник 1 здесь заменяет три шарнира: осевой, вертикальный и горизонтальный. Как правило, в таких втулках корпус демпфера НВ 2 крепится к корпусу втулки 3, а наконечник демпфера 4 – к узлу крепления лопасти НВ 5.

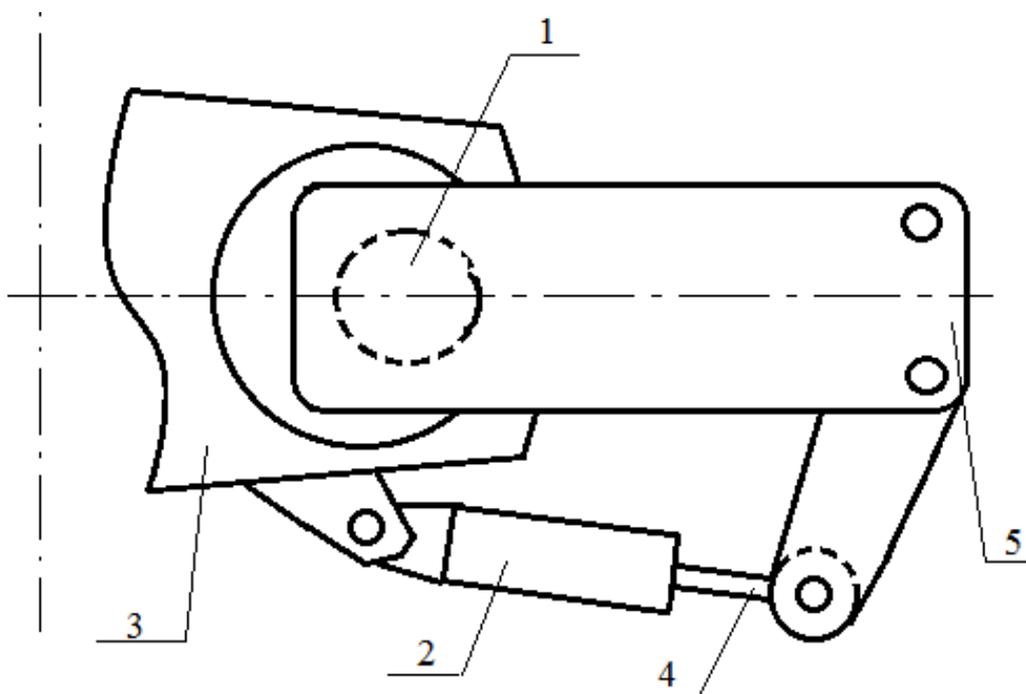


Рис. 1. Схема рассматриваемой втулки несущего винта

В этой схеме наиболее широко применяются подшипники, установленные в наконечниках демпферов НВ вертолетов, относящиеся к типу, которые не требуют техобслуживания (смазывания) в процессе эксплуатации.

Разработаем математическую модель данного процесса на основе анализа вибрационного воздействия на корпус наконечника демпфера, для чего составим уравнение движения подшипника наконечника демпфера несущего винта.

Построение модели

Пусть входным процессом (рис. 2) будет смещение кронштейна 3 лопасти несущего винта, а выходным – смещение метки 4 вкладыша 2 подшипника относительно корпуса наконечника 1.

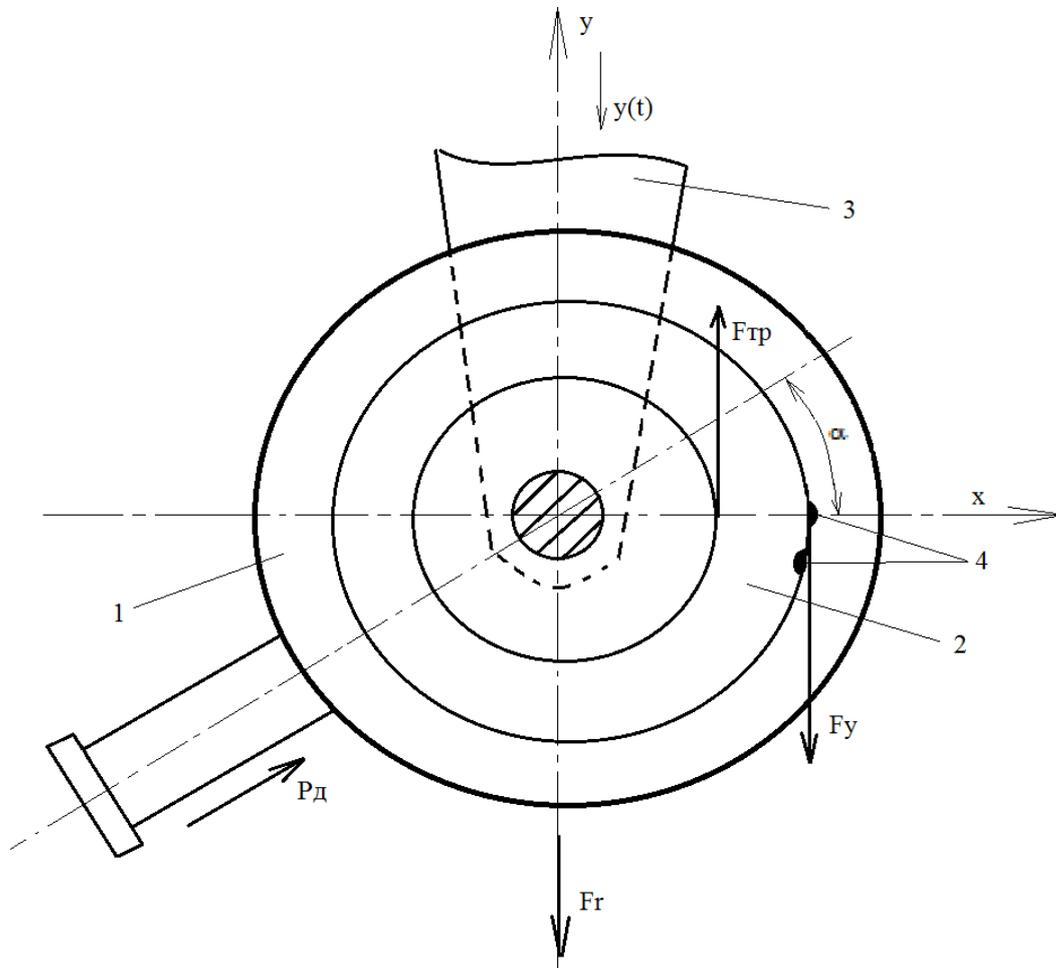


Рис. 2. Схема процесса проворачивания вкладыша сферического подшипника в корпусе наконечника демфера несущего винта

Здесь $y(t)$ – вибрационное воздействие от лопасти несущего винта; F_α – сила, стремящаяся провернуть вкладыш подшипника в корпусе демфера НВ; P_d – демпфирующая сила; F_r – радиальная сила в подшипнике; $F_{тр}$ – сила трения в подшипнике; F_y – сила, стремящаяся провернуть вкладыш подшипника в корпусе демфера НВ.

Опираясь на один из основных законов механики, согласно которому сумма всех сил, приложенных к подшипнику, равна нулю, с учетом осей x и y получим уравнение движения

$$P_d \cos \alpha + P_d \sin \alpha + F_{тр} = F_y + F_r. \quad (1)$$

Радиальная сила, действующая на подшипник, определяется по формуле [1]

$$F_r = p_m(ID), \quad (2)$$

где p_m – условное среднее давление в подшипнике; ID – площадь проекции цапфы на плоскость параллельную оси.

Так как наиболее интенсивная работа демпферов НВ происходит при возникновении самовозбуждающихся колебаний вертолета – земного резонанса, который, как правило, возникает при рулении, взлете и посадке вертолета, то колебания лопасти относительно вертикального шарнира (ВШ),

в нашем случае это входной процесс $x(t)$, характеризуются амплитудой первой гармоники θ , которая определяется по формуле [2]

$$\theta = \frac{a_0 \sqrt{a_1^2 + b_1^2}}{1 - v_0^2}, \tag{3}$$

где a_0 – угол конусности; a_1 и b_1 – коэффициенты махового движения на указанных выше режимах работы винта; v_0 – безразмерный коэффициент лопасти. Амплитуда θ принимается равной 0,5...1, так как при этом значении появляется возможность возникновения земного резонанса, при котором рассматриваемая система наиболее нагружена.

Демпфирующая сила равна силе гидравлического сопротивления Q и определяется по формуле [2]

$$P_d = Q = k_\Gamma \frac{\rho F^3}{2s^2} V_{шт}, \tag{4}$$

где k_Γ – коэффициент гидравлического сопротивления; ρ – плотность жидкости; F – площадь поршня, вытесняющая жидкость; s – площадь проходного отверстия противоперегрузочного клапана, $V_{шт}$ – скорость штока, определяемая по формуле [2]

$$V_{шт} = \frac{4\theta l_d}{57,3T}, \tag{5}$$

где l_d – плечо крепления демпфера; T – период колебания штока.

Сила трения:

$$F_{тр} = fF_r, \tag{6}$$

где f – коэффициент трения в подшипнике.

Таким образом, с учетом (2)–(6), преобразовывая уравнение (1), получим

$$F_y = k_\Gamma \frac{0,035\rho F^3 \theta l_d}{s^2 T} (\cos \alpha + \sin \alpha) + p_m(lD)(f - 1).$$

На рис. 3 изображен аналитический график, представляющий линейную функцию зависимости силы, стремящейся повернуть вкладыш подшипника в корпусе демпфера НВ от коэффициента трения в подшипнике.

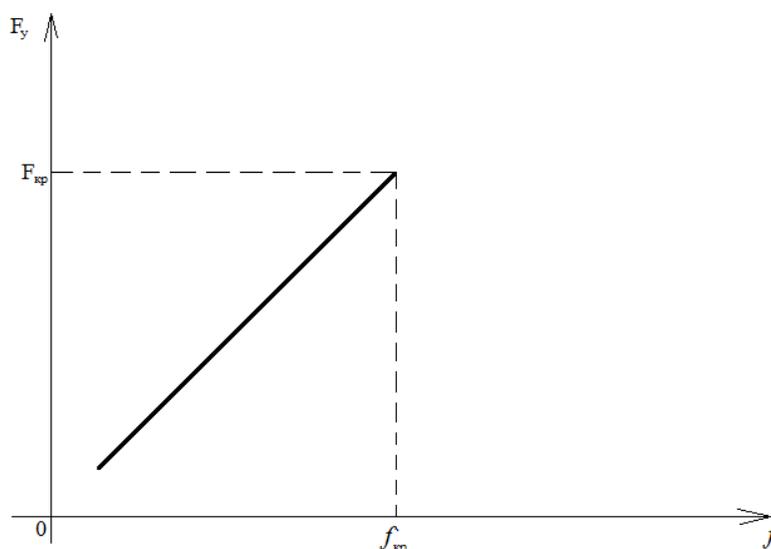


Рис. 3. Характеристика зависимости силы, стремящейся повернуть вкладыш подшипника в корпусе демпфера НВ от коэффициента трения в подшипнике

Как было сказано выше, рассматриваемые подшипники не требуют техобслуживания (смазки) в эксплуатации, и очевидно, что смещение метки, нанесенной на вкладыш подшипника и корпус наконечника демпфера НВ, происходит по достижению некоторого критического значения коэффициента трения $f_{кр}$. Причиной достижения этого критического значения является обеднение смазки, которое необратимо для исследуемых подшипников. Таким образом, критическое значение силы $F_{кр}$, при котором произойдет смещение метки, будет иметь вид

$$F_{кр} = \lim_{f \rightarrow f_{кр}} \left\{ k_f \frac{0,035 \rho F^3 \theta l_D}{s^2 T} (\cos \alpha + \sin \alpha) + p_m (lD)(f - 1) \right\}.$$

Меры по предотвращению проворачивания вкладыша сферического подшипника наконечника демпфера несущего винта

Основным способом для решения проблемы постепенного обеднения смазки и увеличения коэффициента трения в подшипнике до критического значения и, соответственно, повышения надежности несущей системы вертолета, может стать применение наконечников демпферов НВ, требующих регулярной смазки в эксплуатации при выполнении периодических форм техобслуживания.

Но, как известно, любые типы изделий имеют свои преимущества и недостатки. С целью выбора наиболее подходящего наконечника демпфера НВ с подшипником для эксплуатации на вертолетах какого-либо конкретного типа необходимо оценить наибольшую эффективность эксплуатации данного изделия.

Для этого предложим следующие коэффициенты оценки эффективности эксплуатации данного изделия (на примере вертолета). Пусть имеется n типов наконечников с подшипниками, имеющими одинаковые характеристики по нагрузке, тогда

$$K_{Э1} = \left(\frac{S(R)_{пр}^*}{S_{ц1} + S_{тр1} + S_{т1} + S_{зам1} + S_{об1} \left(\frac{R}{T_{об}} \right)} \right) P(t)_1;$$

$$K_{Э2} = \left(\frac{S(R)_{пр}^*}{S_{ц2} + S_{тр2} + S_{т2} + S_{зам2} + S_{об2} \left(\frac{R}{T_{об}} \right)} \right) P(t)_2;$$

$$K_{Эn} = \left(\frac{S(R)_{пр}^*}{S_{цn} + S_{трn} + S_{тn} + S_{замn} + S_{обn} \left(\frac{R}{T_{об}} \right)} \right) P(t)_n, \quad (7)$$

где $S(R)_{пр}^*$ – ожидаемая прибыль от эксплуатации вертолета в течение ресурса наконечника демпфера НВ; $S_{ц1}, S_{ц2}, \dots, S_{цn}$ – стоимость 1-го, 2-го, ..., n -го наконечника демпфера НВ; $S_{тр1}, S_{тр2}, \dots, S_{трn}$ – стоимость транспортных расходов на доставку 1-го, 2-го, ..., n -го наконечника демпфера НВ; $S_{т1}, S_{т2}, \dots, S_{тn}$ – стоимость таможенных расходов на доставку 1-го, 2-го, ..., n -го наконечника демпфера НВ; $S_{зам1}, S_{зам2}, \dots, S_{замn}$ – стоимость замены 1-го, 2-го, ..., n -го наконечника демпфера НВ; $S_{об1}, S_{об2}, \dots, S_{обn}$ – стоимость обслуживания (смазывания) 1-го, 2-го, ..., n -го наконечника демпфера НВ; $T_{об}$ – периодичность обслуживания (смазывания) наконечника демпфера НВ; $P(t)_1, P(t)_2, \dots, P(t)_n$ – вероятность безотказной работы 1-го, 2-го, ..., n -го наконечника демпфера НВ.

Периодичность обслуживания (смазывания) наконечника демпфера НВ $T_{об}$ для конкретного типа вертолета может быть задана с помощью MSG-3 анализа применительно к изделиям вертолетов [3].

Для подшипников, не требующих смазки в эксплуатации, уравнение (7) примет следующий вид:

$$K_{Эn} = \left(\frac{S(R)_{\text{пр}}^*}{S_{\text{цп}} + S_{\text{трп}} + S_{\text{тп}} + S_{\text{замп}}} \right) P(t)_n.$$

Таким образом, наиболее эффективным для эксплуатации будет наконечник демпфера НВ, для которого выполняется следующее условие:

$$K_{Э} = \max(K_{Э1}, K_{Э2}, \dots, K_{Эn}).$$

Заключение

1. Полученная математическая модель процесса проворачивания вкладыша подшипника в корпусе наконечника демпфера НВ вертолета подтверждает происхождение данного процесса по причине повышения коэффициента трения в подшипнике до критического значения вследствие постепенного обеднения смазки.

2. Этот процесс возможно предотвратить с помощью замены в конструкции несущей системы наконечника демпфера НВ, не требующего смазки в эксплуатации, на наконечник демпфера НВ, требующий периодического смазывания в эксплуатации.

3. В свою очередь данные наконечники могут иметь определенные недостатки и оказаться неэффективными и нерентабельными. Для оценки этой эффективности и сравнения полученных результатов между наконечниками демпфера НВ с различными типами подшипников предложены новые коэффициенты.

Библиографический список

1. Горбатюк, С. М. Детали машин и основы конструирования / С. М. Горбатюк, А. Н. Веремеевич, С. В. Албул, И. Г. Морозова. – М. : МИСиС, 2014. – 424 с.
2. Сохань, О. Н. Конструирование втулок несущих винтов вертолетов / О. Н. Сохань. – М. : Московский авиационный институт, 1981. – 56 с.
3. Пивоваров, В. А. Рекомендации по установлению ресурсов вертолету Ми-2 / В. А. Пивоваров, Р. Л. Семенихин // Научный вестник МГТУ ГА. – 2012. – № 179. – С. 107–113.

Семенихин Роман Леонидович

кандидат технических наук,
инженер по сопровождению
эксплуатации вертолетов,
АО «Хеливерт»
(140070, Россия, Московская область, Люберецкий
район, пос. Томилино, ул. Гаршина, 26/3)
E-mail: airroman1980@gmail.com

Semenikhin Roman Leonidovich

candidate of technical sciences,
product support engineer,
JSC "Helivert"
(140070, 26/3 Garshina street, Tomilino village,
Lyuberetsky district, Moscow region, Russia)

УДК 629.7.026.56

Семенихин, Р. Л.

Процесс проворачивания вкладыша сферического подшипника наконечника демпфера несущего винта вертолета и его предотвращение / Р. Л. Семенихин // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 2 (22). – С. 61–66. DOI 10.21685/2307-4205-2018-2-8.