

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
«МАИ»

Факультет №: «1»
Кафедра № : «102»

Методические указания к лабораторной работе
«Конструкция втулок винтов вертолета»

Электронное учебное пособие

для основной образовательной программы

«Конструкция вертолетов»

по направлению (специальности) подготовки

«№ 24.05.07.С6» «Самолето- и вертолетостроение» специализации «Вертолетостроение»

Составители:

Кандидат технических наук,
доцент кафедры 102

Башаров Е.А.

Ст. преподаватель кафедры 102

Ткаченко С.А.

Утверждено

на заседании кафедры 102

« ____ » _____ 2019 г.

Москва – 2019 г.

Составители: **Башаров Евгений Анатольевич,**
Ткаченко Сергей Анатольевич

Башаров Е.А., Ткаченко С.А. Методические указания к лабораторной работе «Конструкция втулок винтов вертолета» [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие / Е.А. Башаров, С.А. Ткаченко; Миннауки и высшего обр. РФ, Московский авиац. институт МАИ (нац. исслед. ун-т).- Электрон. текстовые и граф. дан. (25 Мбайт). - Москва, 2019.- 1 эл.опт. диск (CD-ROM)

В предлагаемом учебном пособии приведены методические указания к проведению лабораторной работы на тему «Конструкция втулок винтов вертолета» по курсу «Конструкция вертолетов».

Рассмотрены втулки несущих и рулевых винтов конструкций отечественных серийных вертолетов Московского вертолетного завода им. М.Л. Миля (АО «МВЗ им. М.Л. Миля»), Ухтомского вертолетного завода им. Н.И. Камова (АО «Камов»), Казанского вертолетного завода (АО «КВЗ»). Рассмотрены общие требования и нагрузки с эпюрами нагружения, действующие на элементы конструкции втулок винтов при эксплуатации вертолета. Дан анализ конструктивно-силовым схемам втулок несущих и рулевых винтов, в том числе перспективных конструкций.

Учебное пособие подготовлено на кафедре 102 МАИ «Проектирование вертолетов» и предназначено для студентов по специальности «Самолето- и вертолетостроение», а также будет полезно для специалистов вертолетостроительной отрасли России и инженеров.

© Московский авиационный
институт «МАИ», 2019

1. Цель, содержание и организация проведения лабораторной работы

Целью лабораторной работы является углубление и закрепление знаний по курсу «Конструкция вертолетов» в части «Конструкция втулок винтов вертолета».

На лабораторной работе студенты изучают типы конструкций втулок несущих и рулевых винтов современных вертолетов и получают представление, как теоретические знания, полученные на лекциях и изложенные в учебниках, реализуются в конкретных агрегатах вертолетов.

Лабораторная работа проводится в учебной лаборатории кафедры «Проектирование вертолетов». Преподаватель в начале занятия путем опроса оценивает подготовку студента к выполнению лабораторной работы, затем знакомит их с конструкцией различных конструкций втулок несущих и рулевых винтов вертолетов, имеющихся в лаборатории, выдает задания для самостоятельной работы каждому студенту и оказывает методическую помощь в ходе ее выполнения.

Студент в ходе выполнения лабораторной работы должен:

- а) изучить конструкции различных типов втулок винтов вертолетов, представленных в лаборатории;
- б) выполнить в соответствии с заданием эскизы конструкции втулки несущего или рулевого винта (основные силовые элементы – корпус втулки, шарниры, упругие торсионы, эластомерные подшипники, тяги, поводки и т.д.), центробежный ограничитель свеса, токосъемник, гидравлический демпфер колебаний лопасти в плоскости ее вращения, упругие демпфирующие элементы и элементы гасителей вибраций;
- в) провести анализ конструкции агрегата.

В анализе необходимо указать состав и назначение элементов конструкции выбранной втулки винта вертолета, каким образом и с помощью каких элементов они соединены между собой. Следует также указать нагрузки,

приходящие с лопастей на элементы втулки винта вертолета и объяснить, как они перераспределяются и замыкаются в конструкции трансмиссии и планера вертолета. После выполнения задания студент предъявляет эскизы конструкции изученного агрегата втулки винта вертолета и записку с результатами анализа конструкции.

2. Общие требования и нагрузки, действующие на элементы втулки несущего и рулевого винта при эксплуатации вертолета. Назначение, условия работы различных схем втулок винтов вертолетов.

2.1 Общие требования ко втулкам несущего и рулевого винтов

Ко втулкам несущих и рулевых винтов предъявляются следующие требования: обеспечение кинематической подвижности лопасти на всех рабочих режимах, ограничение степеней свободы лопасти, обеспечение наиболее благоприятных условий работы винта с точки зрения аэродинамики, обеспечение прочности конструкции, высокая несущая способность, гарантия надежности и безопасности эксплуатации, обеспечение заданного ресурса, эксплуатационная неприхотливость, минимальное время обслуживания и удобный доступ для технического обслуживания агрегата.

Втулка несущего винта – один из важнейших и наиболее ответственных агрегатов конструкции вертолета.

Функции, выполняемые втулкой несущего (рулевого) винта:

- механизмы втулки обеспечивают угловые перемещения лопастей;
- втулка передает силы и моменты на вал несущего (рулевого) винта и далее на конструкцию вертолета;
- от схемы втулки зависят характеристики управления и динамики вертолета.
- собственная частота колебания лопасти с рукавом втулки НВ в плоскости вращения по низшему тону должна быть не ниже $0,56 \cdot \omega_{H.B.}$, во избежание возникновения "земного резонанса";
- механизмы втулки обеспечивают ограничение махового движения рукавов;
- втулка рулевого винта обеспечивает отсутствие резонансных колебаний.

Общий уровень переменных напряжений в деталях втулки повышается, и ее создание требует совершенно нового подхода к конструированию и технологии изготовления. Конструкция втулки должна быть, по возможности, без элементов, приводящих к концентрации напряжений.

Прогресс в материаловедении в конце 70-х годов позволил отказаться от подшипников качения, всегда ограничивающих долговечность такого нагруженного и ответственного агрегата, каким является втулка НВ вертолета. В последнее время общим направлением при создании новых бесшарнирных втулок НВ современных вертолетов стала тенденция к полной или частичной замене традиционных металлических шарниров теми или иными упругими элементами, обеспечивающими необходимые перемещения лопастей за счет собственной податливости. К таким упругим элементам относятся упругие торсионы из полимерных композиционных материалов (ПКМ), воспринимающие центробежную силу и заменяющие шарниры.

2.2 Нагрузки на втулку несущего винта

Характер и величины нагрузок, действующих на втулку несущего винта, зависят от ее кинематической и конструктивной схемы, поэтому должны определяться для каждого типа несущего винта отдельно. Силы и моменты на втулку приходят со стороны лопастей (рис. 2.1 - 2.4).

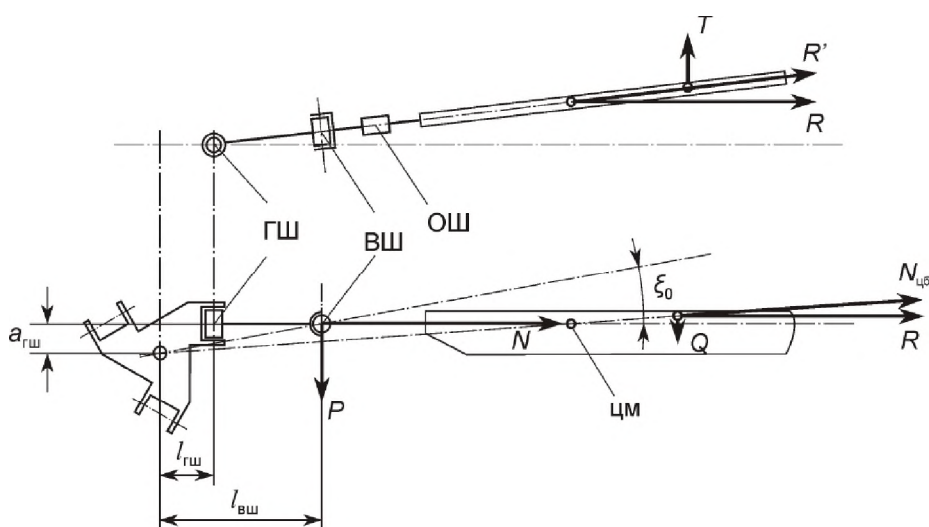


Рис. 2.1 Схема сил, действующих на шарнирную втулку в плоскости взмаха и в плоскости вращения лопасти.

Самой большой по величине является центробежная сила N . Она в основном определяет осевую силу R и требуемые сечения силовых деталей втулки и, соответственно, ее массу. На втулку действует изгибающий момент от взмаха лопасти под действием силы тяги T , который замыкается на *горизонтальном шарнире* (ГШ). А также изгибающий момент, который замыкается на *вертикальном шарнире* (ВШ), и перерезывающая сила P от действия кориолисовых сил Q в плоскости вращения НВ. Кроме этого на втулку действует крутящий момент от закручивания лопасти, он через *осевой шарнир* (ОШ) компенсируется усилиями в проводке управления.

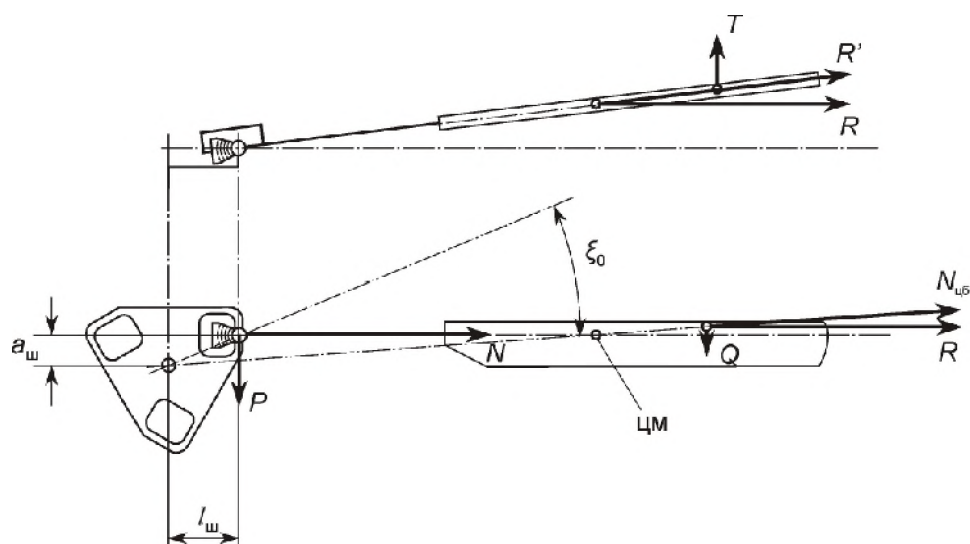


Рис. 2.2 Схема сил, действующих на втулку со сферическим эластомерным подшипником в плоскости взмаха и в плоскости вращения лопасти.

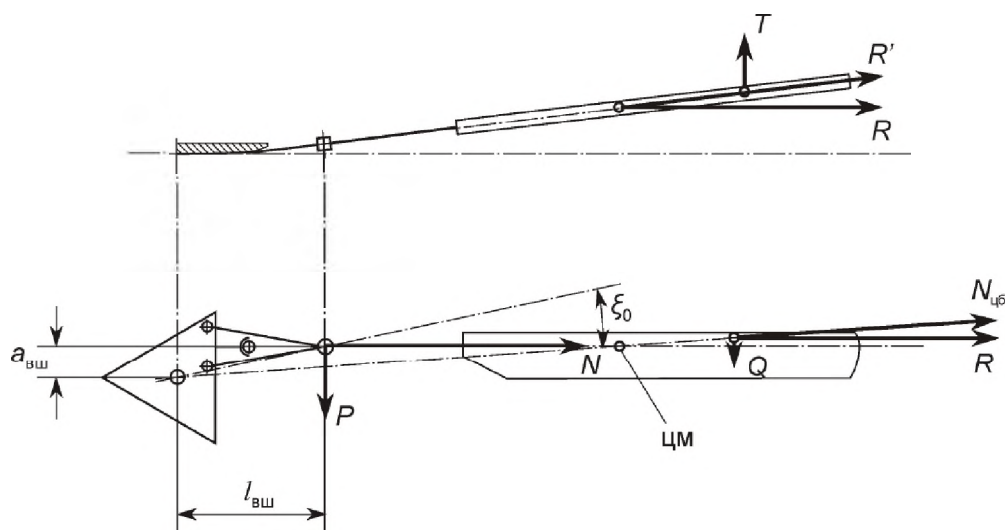


Рис. 2.3 Схема сил, действующих на втулку с пластинчатым V-образным торсионном в плоскости взмаха и в плоскости вращения лопасти.

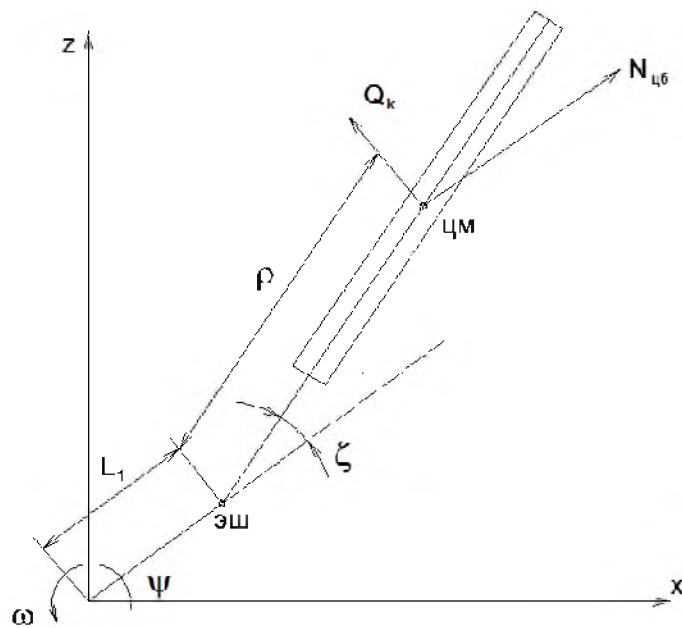


Рис. 2.4 Схема сил, действующих на втулку с балочным торсионом в плоскости вращения лопасти.

Бесшарнирные втулки характеризуются точкой *эквивалентного шарнира* (ЭШ), относительно которой происходят колебания лопастей. Значения величины нагрузок на втулку различных схем характеризуются параметрами $a_{ГШ}$, $l_{ГШ}$, $l_{ВШ}$, L_1 , ρ , ξ_o и др.

2.3 Нагрузки на втулку рулевого винта

Нагрузки на втулку РВ аналогичны нагрузкам на втулку НВ (рис. 2.5), но существенно зависят от частотных характеристик лопастей. Для РВ характерной является работа при больших углах установки лопастей.

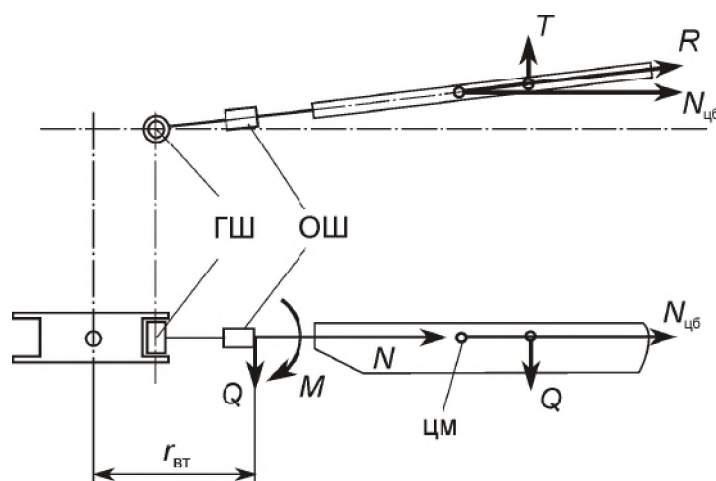


Рис. 2.5 Схема сил, действующих на втулку рулевого винта.

При отсутствии ВШ изгибные колебания в плоскости тяги и вращения винта оказываются связанными. Причем комель лопасти и втулка РВ нагружаются большими изгибающими моментами M . Отстройка от резонанса совместных изгибных колебаний и кориолисовых сил решается соответствующим подбором кинематической схемы втулки, жесткостных и массовых характеристик лопасти.

2.4 Типы и условия работы втулок несущих винтов различных схем вертолетов

Втулки несущих винтов в зависимости от технических решений, обеспечивающих угловые перемещения лопасти, можно разделить на три характерные группы: втулки с горизонтальными шарнирами (ГШ), втулки с упругими элементами (УЭ), выполняющими функцию горизонтальных шарниров, и втулки без ГШ или заменяющих их упругих элементов (рис. 2.6).

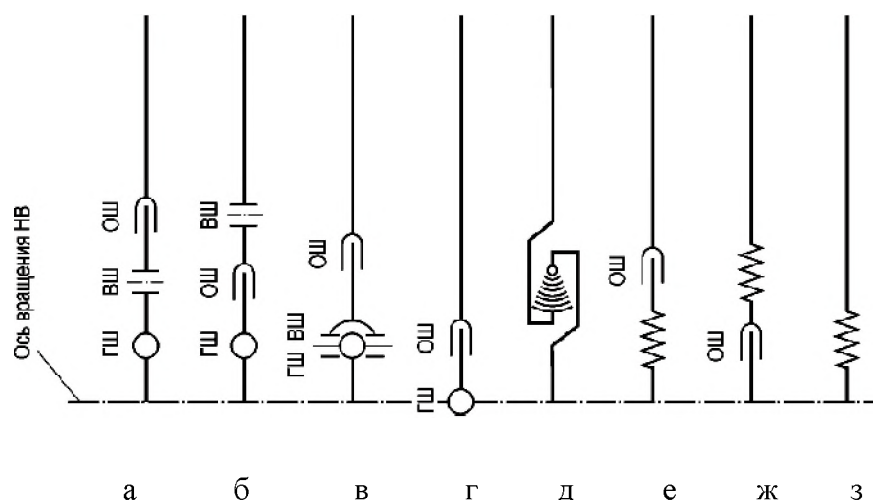


Рис. 2.6 Кинематические схемы втулок несущих винтов: а, б – с разнесенными шарнирами, в – с совмещенным ГШ и ВШ, г – с общим ГШ, д, е – с упругими элементами (эластомером, торсионом), ж – с осевым шарниром, з – бесшарнирная втулка.

Каждая из кинематических схем втулок несущих винтов имеет свои особенности, достоинства и недостатки. На разных типах вертолетов применяются различные схемы втулок НВ. Конструкция втулки НВ влияет на маховые движения лопастей НВ, его аэродинамику, а также маневренность и управляемость вертолета.

В шарнирной втулке НВ основные постоянные и переменные моменты и нагрузки воспринимают шарниры ГШ и ВШ с шариковыми, роликовыми или игольчатыми подшипниками, схема и эпюры нагружения которых показана на рис. 2.7.

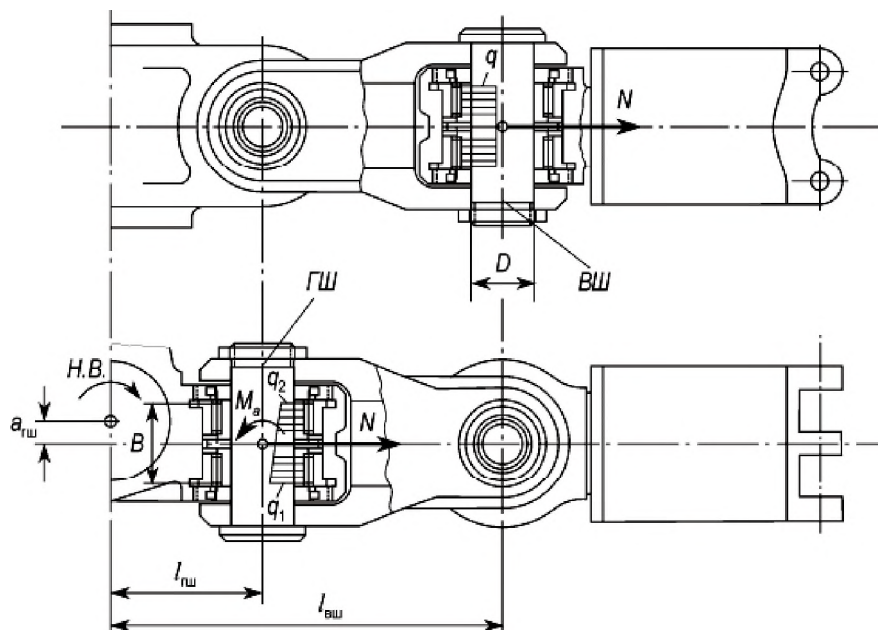


Рис. 2.7 Схема и эпюры нагружения подшипников шарниров втулки НВ:
 q, q_1, q_2, M_s – нагрузки и моменты.

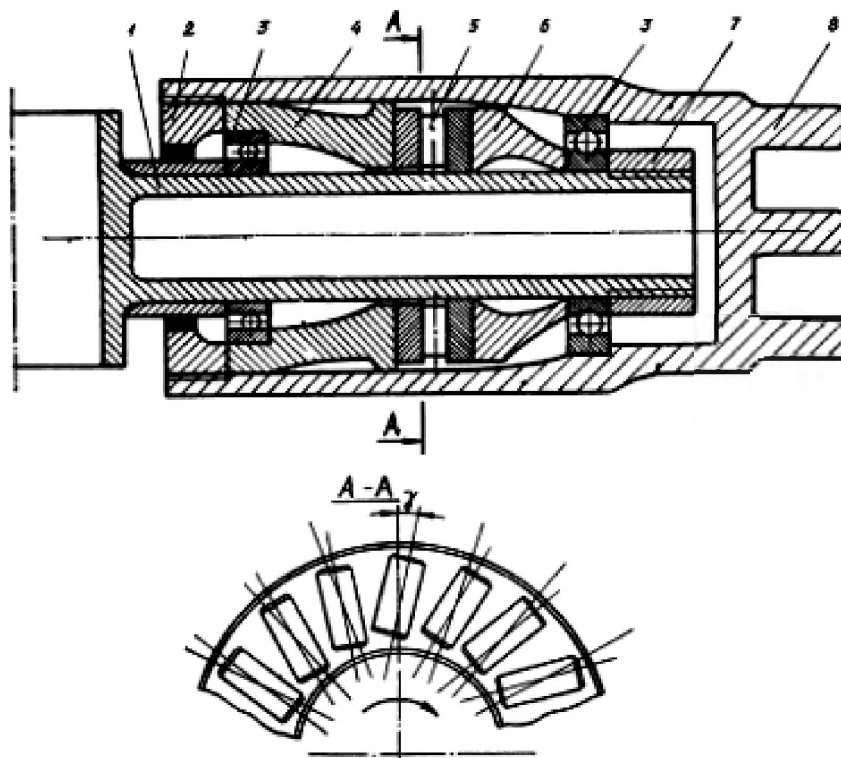


Рис. 2.8 Конструкция осевого шарнира втулки НВ вертолета Ми-24А [13]:
 1-цапфа, 2-гайка корпуса осевого шарнира, 3-радиальный шарикоподшипник, 4-распорная втулка, 5-упорный роликовый подшипник, 6-упорное кольцо, 7-гайка, 8-корпус.

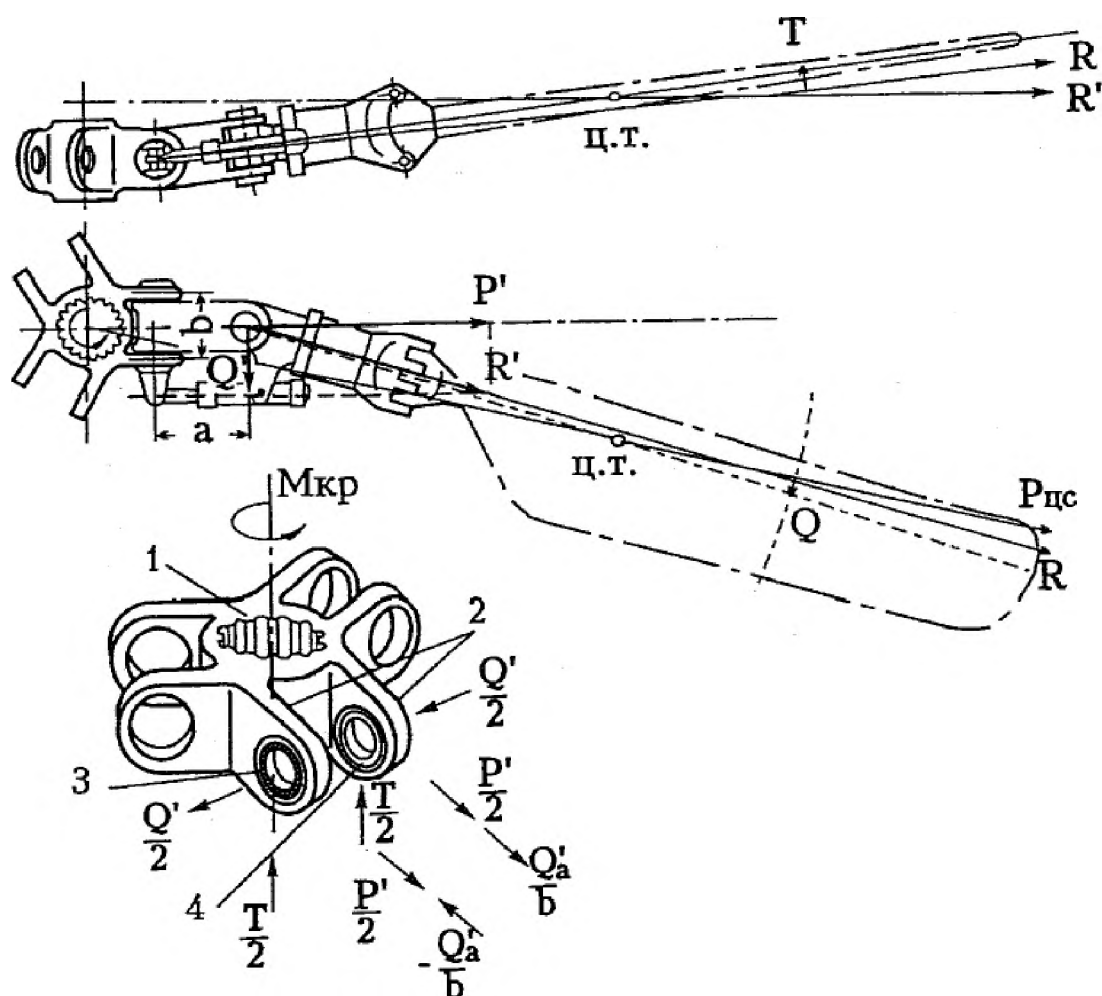


Рис. 2.9 Схема нагружения ступицы шарнирной втулки:

1- ступица втулки, 2-проушина, 3,4 - подшипники;

а- вынос вертикального шарнира (ВШ).

Подшипники воспринимают центробежную силу N нагружаясь распределенной нагрузкой q , причем в горизонтальном шарнире (ГШ) она будет неравномерная от эксцентриситета $a_{шн}$. От этого палец ГШ будет нагружаться поперечным изгибающим моментом M_a , см. рис. 2.9.

При механическом приводе лопастей НВ через втулку передается крутящий момент $M_{кр}$ от вала редуктора к лопастям [21].

Ступица втулки НВ воспринимает крутящий момент $M_{кр}$ от вала главного редуктора, а также аэродинамические T , Q и инерциальные силы P и моменты, возникающие на лопастях НВ, которые передает через узлы крепления главного редуктора на каркасные силовые элементы фюзеляжа вертолета.

На рукав торсионной втулки НВ в плоскости вращения действуют центробежная сила $N_{цб}$ и изгибающий момент M , а также переменные по величине и направлению инерционные силы $\pm Q_{дин}$ и моменты $\pm M_{дин}$, а также аэродинамическая сила сопротивления лопасти Q . Данному случаю соответствует схема и эпюры нагружения на рисунке 2.10.

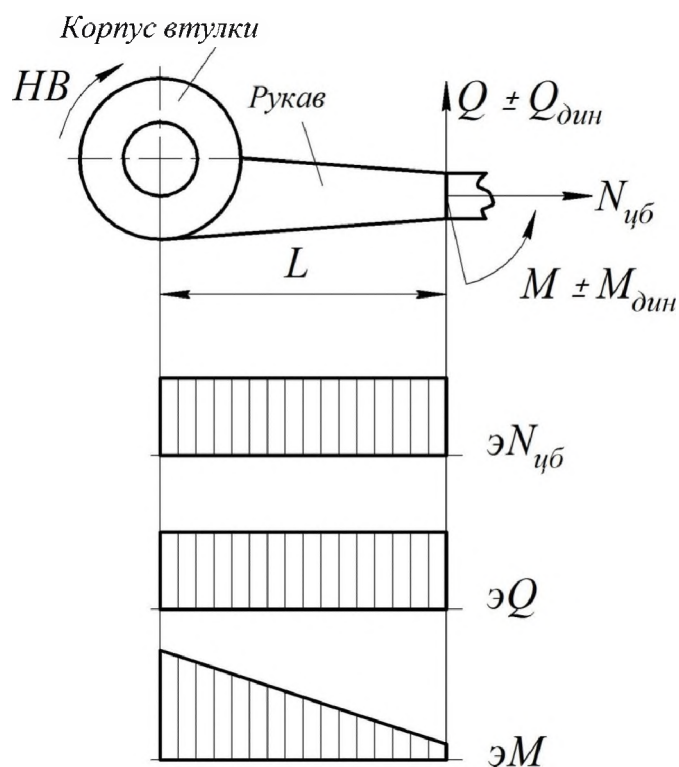


Рис. 2.10 Нагрузка на рукав втулки НВ в плоскости вращения.

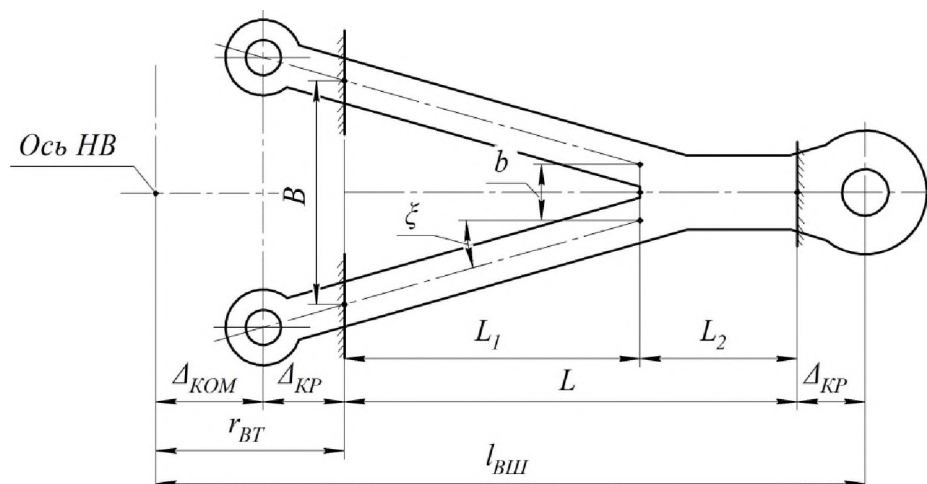


Рис. 2.11 Геометрические размеры пластинчатого торсиона.

Торсион представляет собой силовую пластинчатую V-образную балку, консольно жестко закрепленную с одного конца (рис. 2.11).

Аэродинамические и инерционные силы и моменты с лопасти передаются через пластины торсиона на корпус втулки несущего винта (см. рис. 2.12).

Торсион воспринимает центробежную силу $N_{цб}$, изгибающий момент M при маховом движении лопасти в плоскости тяги, закручивается при повороте лопасти и нагружается в плоскости вращения силой T и моментом из-за отсутствия вертикального шарнира (ВШ).

При этом торсион обеспечивает маховое движение лопасти в плоскости тяги, некоторое маховое движение лопасти в плоскости вращения, уменьшая изгибающие моменты в комле лопасти от действия кориолисовых сил и поворот лопасти относительно ее продольной оси, нагружаясь в основном центробежной силой, приходящей с лопасти.

Таким образом, рабочий участок упругого торсиона, работающий на кручение, должен быть способен к высокоамплитудным изгибным деформациям, возникающим на высокоманевренных режимах работы НВ, а также воспринимать центробежные нагрузки от лопасти.

Если торсион будет обладать излишней податливостью на изгиб в плоскости вращения винта, то бесшарнирный НВ будет более восприимчив к аэромеханической и прочностной неустойчивости (явление “земного резонанса”). Если же торсион имеет слишком большую жесткость на изгиб в плоскости вращения, то из-за резонансных явлений возрастают нагрузки в плоскости вращения.

Пластинчатый торсион позволяет лопасти совершать маховое движение на угол β в разных плоскостях и закручиваясь на угол γ от рычага поворота лопасти и кожуха изменять угол установки лопасти φ . Конструктивно состоит из набора (пакета) пластин из высокопрочной стали. Основное достоинство пластинчатого торсиона заключается в том, что он отделяет нагрузки, связанные с маховым движением лопасти, от крутильных нагрузок, позволяя

тем самым увеличить амплитуду взмаха при уменьшении разноса шарниров втулки (см. рис. 2.13 - 2.14) .

Форма пластины в плане должна способствовать более равномерному распределению внутренних сил, влияние концентраторов напряжений должно быть минимальным. На рис. 2.15 изображены эпюры эквивалентных напряжений, иллюстрирующие неравномерность распределения напряжений по кромке пластин.

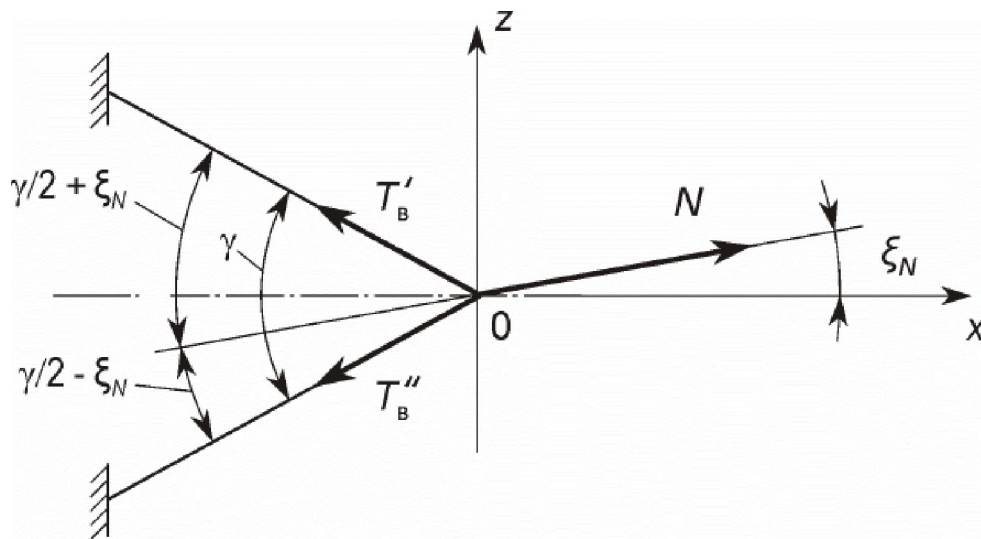


Рис. 2.12 Схема распределения сил T'_B и T''_B по ветвям торсиона в плоскости вращения

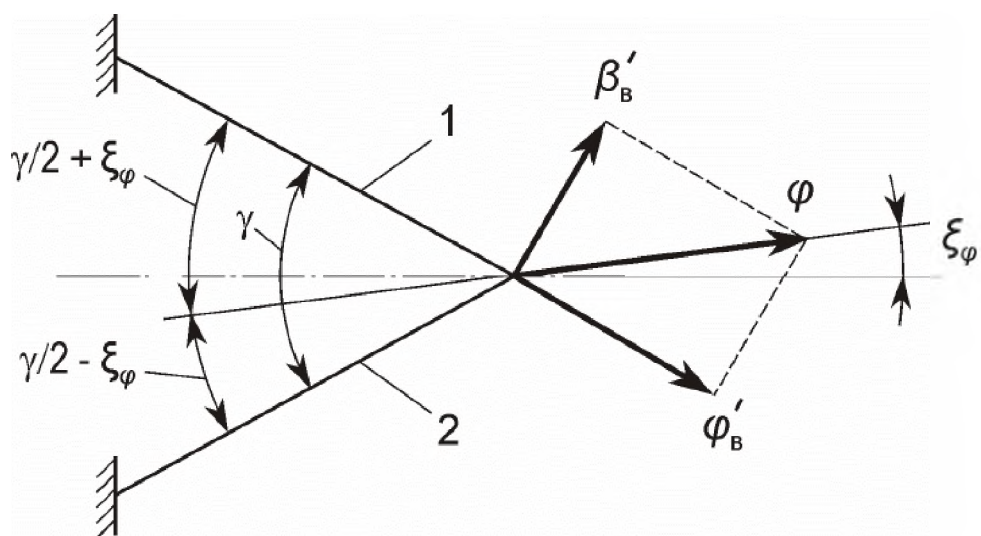


Рис. 2.13 Схема углов закрутки ветвей торсиона:

1-левая ветвь, 2-правая ветвь, ξ - угол лопасти относительно оси симметрии.

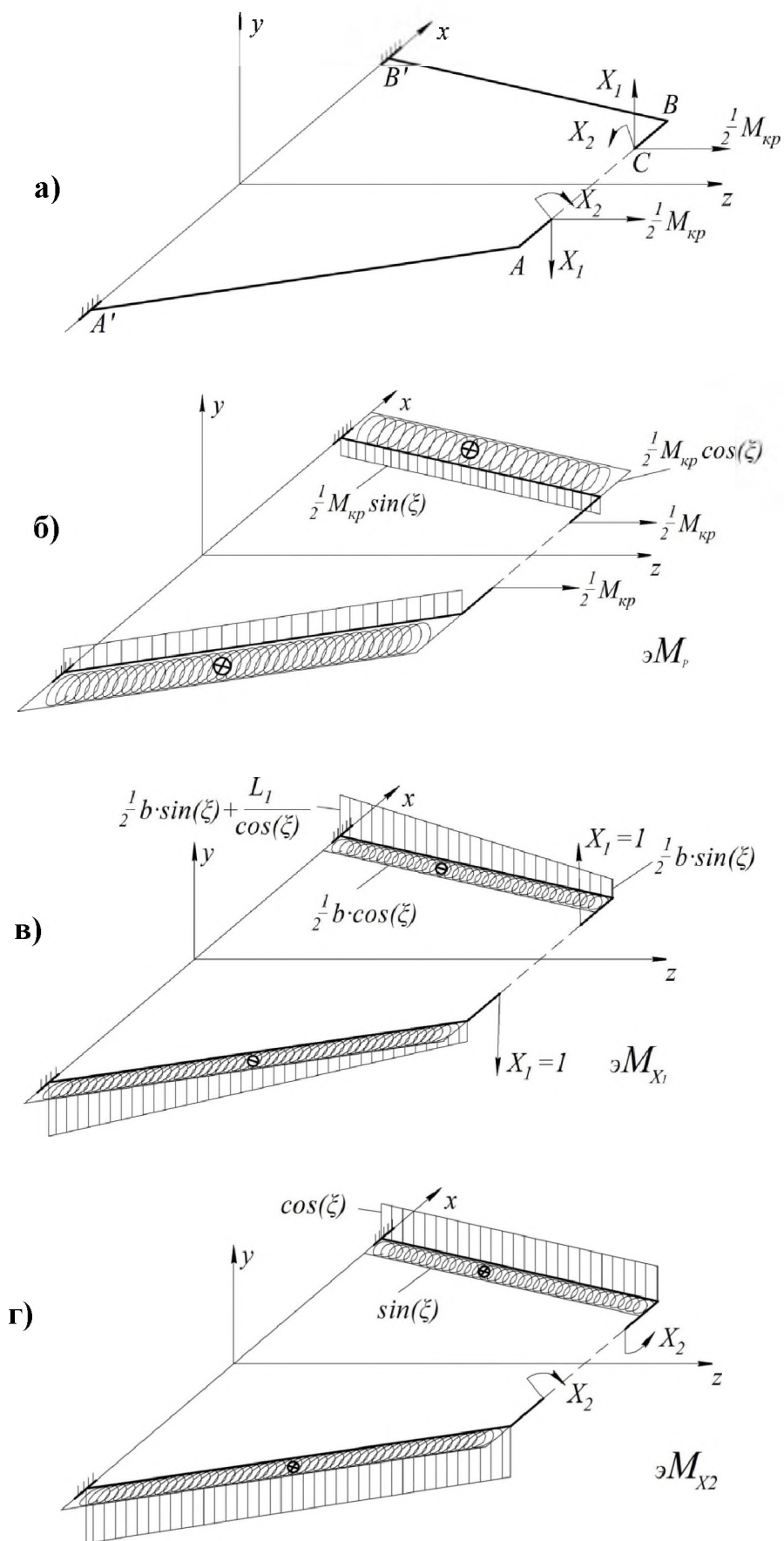


Рис. 2.14 Схема нагружения (а) ветвей торсиона и эпюры изгибающего M_p и крутящего $M_{кр}$ моментов (б) с эпюрами единичных сил (в,г).

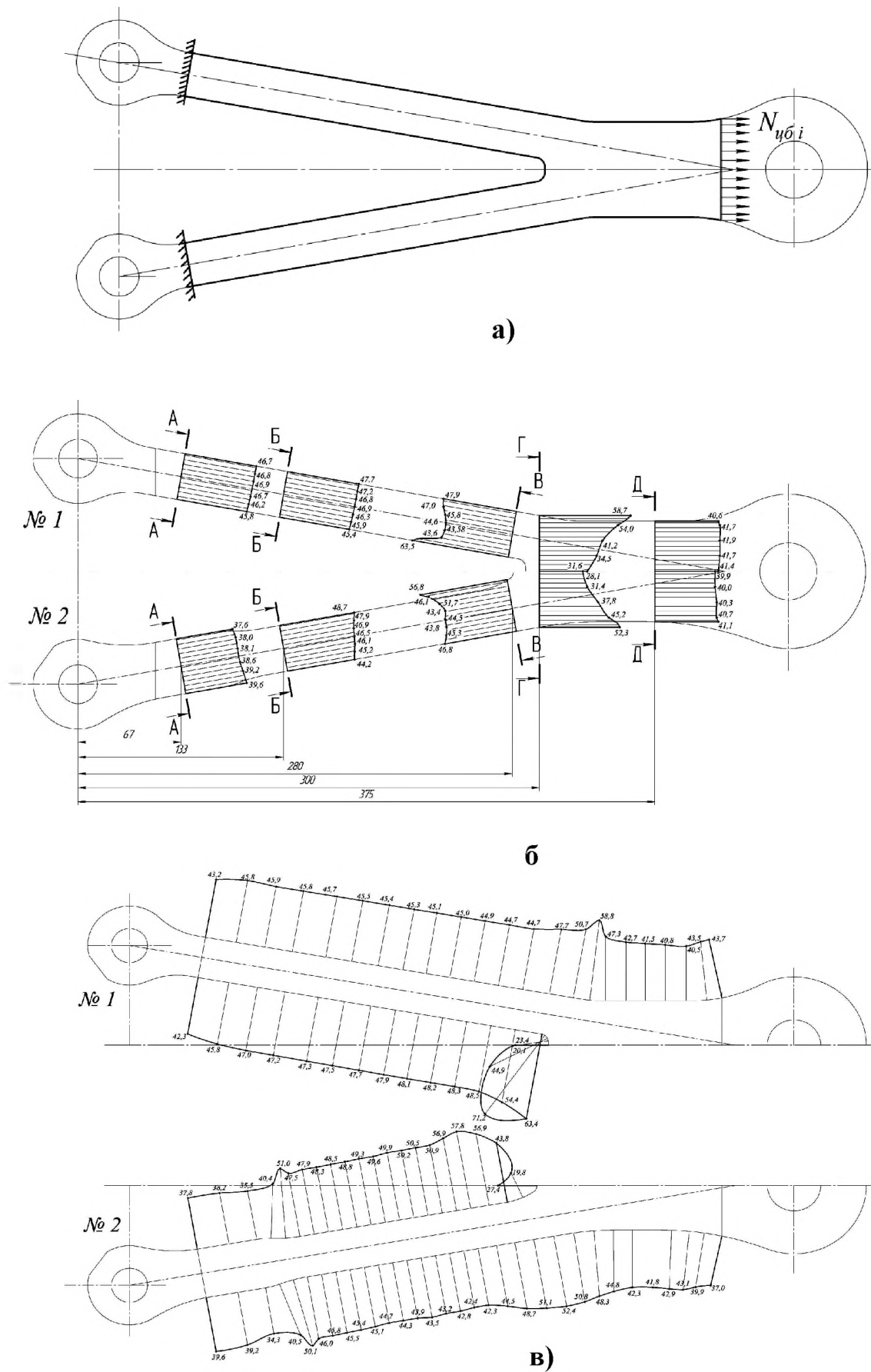


Рис. 2.15 Схема нагружения центробежной силой $N_{цб}$ (а) ветвей торсиона и эпюры эквивалентных напряжений (б,в) по сечениям.

Среди возможных вариантов конструкций осевых шарниров втулок несущих и рулевых винтов значительное место занимают осевые шарниры с балочными пластинчатыми или проволочными торсионами (рис. 2.16). Применение торсиона существенно изменило привычную силовую схему осевого шарнира, исключив традиционный узел для восприятия центробежной силы. Торсион воспринимает большую центробежную силу N и в то же время может легко поворачиваться на угол φ .

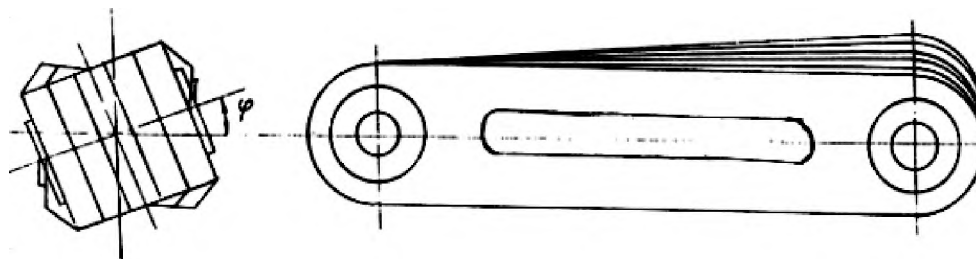


Рис. 2.16 Схема нагружения балочного пластинчатого торсиона.

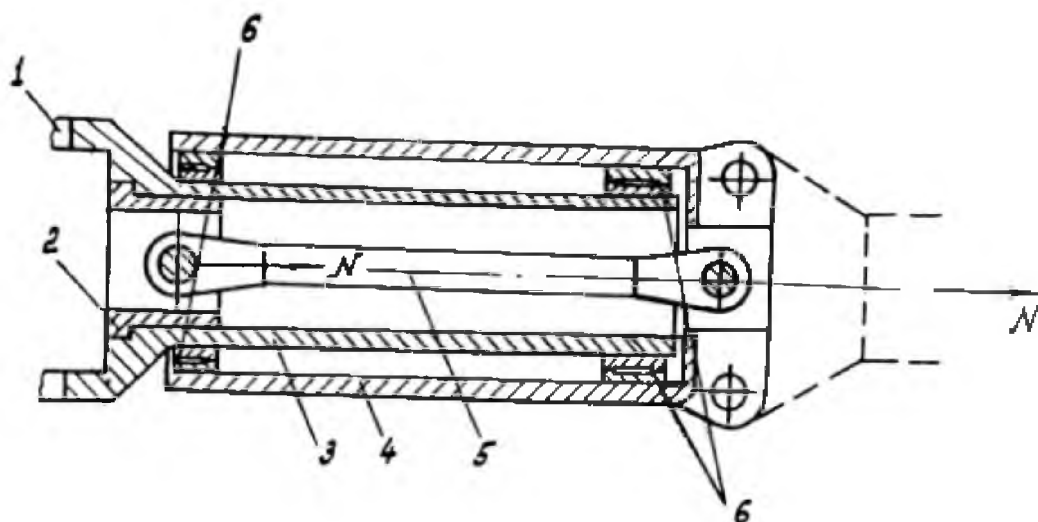


Рис. 2.17 Схема нагружения осевого шарнира с проволочным торсионом втулки НВ тяжелого вертолета Ми-26 [23]: 1-проушина вертикального шарнира, 2-вкладыш, 3-цапфа, 4-корпус осевого шарнира, 5-проволочный торсион, 6-подшипники.

Проволочный торсион в осевом шарнире втулки НВ вертолета Ми-26 образован большим количеством плотно уложенной стальной проволоки (диаметром 0,36 мм). Его поперечное сечение имеет прямоугольную форму. Узлы крепления торсиона к деталям ОШ показаны на рис. 2.17.

Торсионные ОШ легче шарниров с упорными или радиально-упорными подшипниками на 10-15%. Проволочные торсионы более просты в производстве. Они превосходят прорезные пластинчатые по несущей способности.

Необходимость создания упрощенной, более эффективной и надежной системы НВ стало первостепенной задачей вертолетной промышленности. Одним из таких направлений являлось создание втулки НВ с эластомерными подшипниками. Эластомерные подшипники разделены на пять основных типов. Технические требования к их применению, включающие, прежде всего коэффициент упругости и допускаемые движения, определяют тип подшипника, который должен быть применен во втулке НВ.

1. *Упорные цилиндрические подшипники*, рис. 2.18.

Подшипники этого типа рассчитаны на восприятие высоких осевых нагрузок F , одновременно обеспечивая крутильные колебания Φ в горизонтальной плоскости благодаря соответственно сжатию и сдвигу резинового слоя. Этот тип подшипника обладает большой жесткостью при восприятии осевых нагрузок и хорошей пластичностью при восприятии нагрузок на сдвиг.

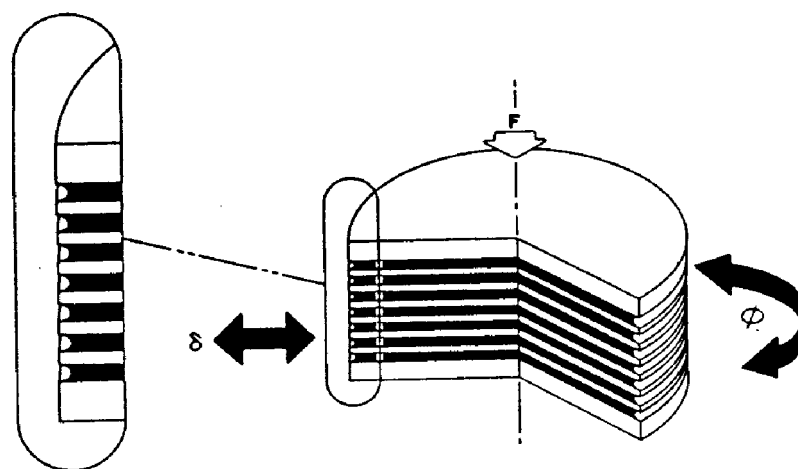


Рис. 2.18 Схема нагружения упорного цилиндрического подшипника

2. *Сферические упорные подшипники*, рис. 2.19.

Эти подшипники рассчитаны на обеспечение колебаний Φ относительно трех осей благодаря сдвигу в слое резины при восприятии высоких осевых нагрузок F в условиях сжатия. Подшипники этого типа обладают высокой жесткостью при действии высоких нагрузок на сжатие и низкой при восприятии нагрузки на сдвиг.

Этот подшипник может заменить три или больше отдельно расположенных подшипников обычной конструкции.

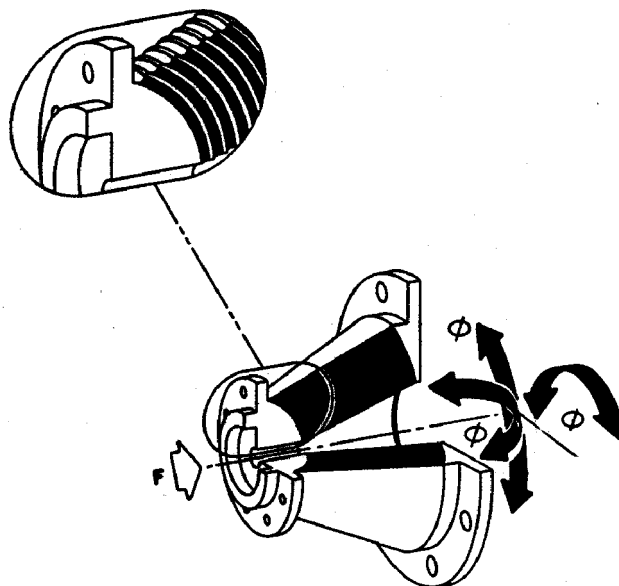


Рис. 2.19 Схема нагружения сферического упорного подшипника

3. Цилиндрические радиальные подшипники, рис. 2.20.

Подшипники этого типа воспринимают большие нагрузки F в радиальных направлениях благодаря сжатию резинового слоя, одновременно обеспечивая восприятие крутильных или осевых колебательных нагрузок Φ за счет сдвига. Высокая степень жесткости отмечается в направлениях радиального сжатия и при сохранении низкой жесткости при восприятии осевых и крутильных нагрузок.

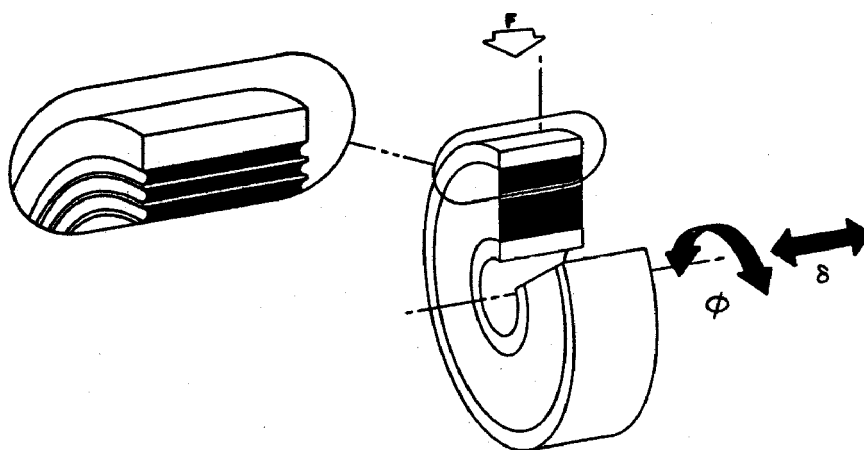


Рис. 2.20 Схема нагружения цилиндрического радиального подшипника

4. Сферические подшипники, рис. 2.21.

Подшипники этого типа обеспечивают восприятие крутильных или вращательных колебаний Φ относительно трех осей помимо небольшого осевого колебания, одновременно воспринимая высокие радиальные нагрузки F . Высокую прочность при сжатии и нагрузки на сдвиг успешно используют, чтобы обеспечить восприятие радиальных нагрузок и соответственно крутильных, вращательных и осевых колебаний.

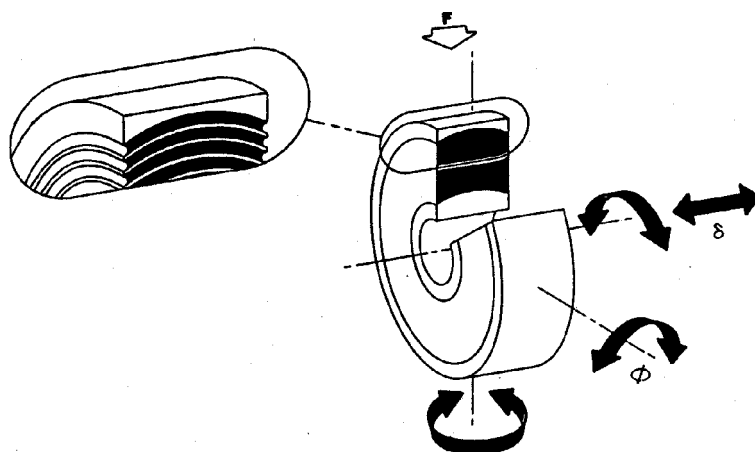


Рис. 2.21 Схема нагружения сферического подшипника

4. Конические упорные подшипники, рис. 2.22.

Для них характерна способность воспринимать высокие осевые и радиальные нагрузки F при сжатии и сдвиге резины, а также слабая прочность на сдвиг при крутильных колебаниях Φ . Этот тип подшипников может воспринимать некоторую часть вращательных нагрузок или колебаний.

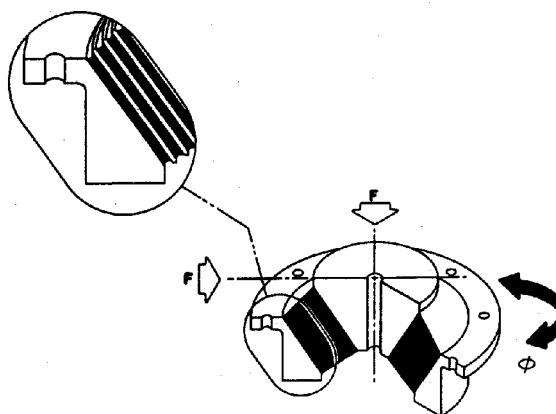


Рис. 2.22 Конический упорный подшипник

В отличие от торсионов, работающих на растяжение, эластомерный сферический подшипник работает на сжатие (рис. 2.23). Что положительно сказывается на безопасности полётов, так как в случае разрушения подшипника вероятность катастрофы невелика, что можно рассматривать как положительную сторону конструкции.

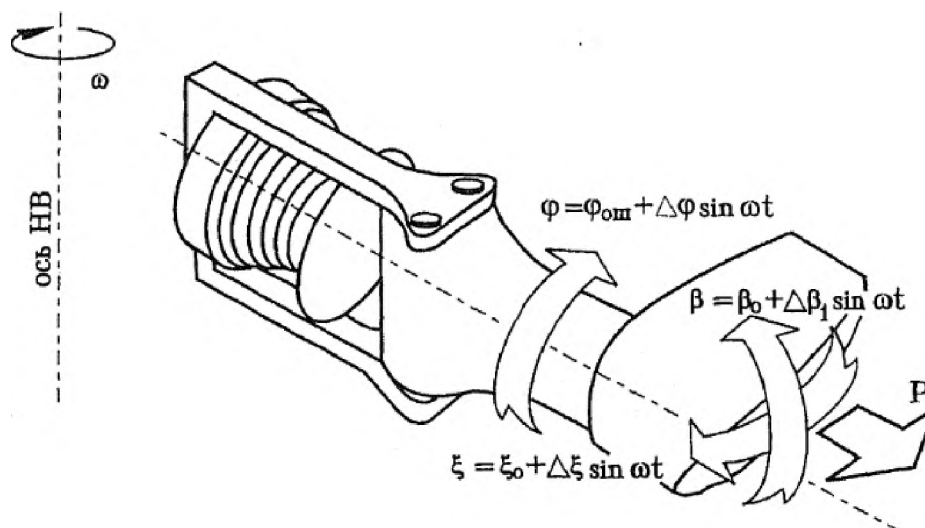


Рис. 2.23 Схема нагружения сферического эластомерного подшипника.

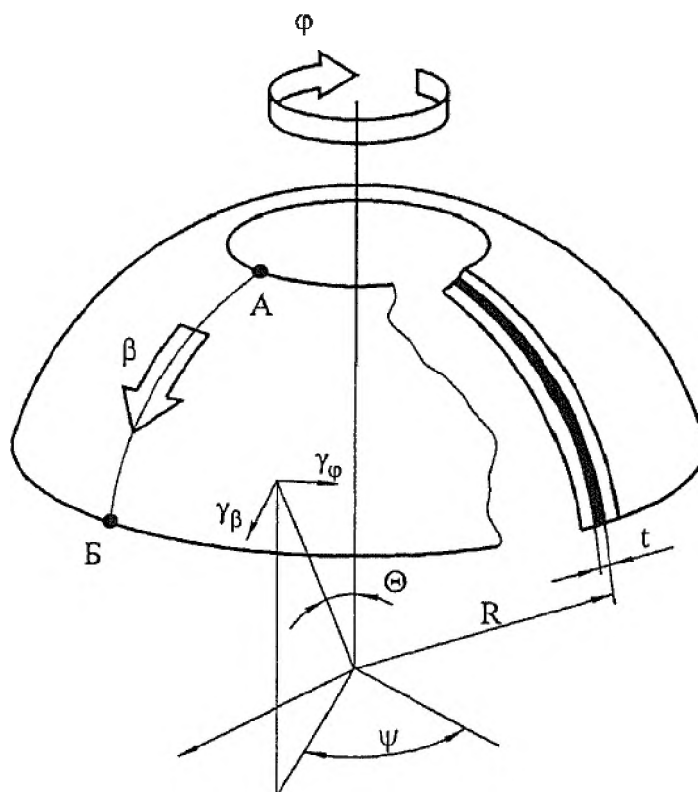


Рис. 2.24 Суммирование сдвиговых деформаций в сферическом слое.

Форма слоев эластомерного подшипника определяется назначением и условиями работы подшипника. Возможно сложение нескольких перемещений в одном подшипнике путем придания слоям пакета необходимой формы. С учетом этого в сферическом подшипнике разрушающей деформацией принято считать результирующую циклическую сдвиговую деформацию в точке Б (см. рис. 2.24).

При определении сдвиговой деформации γ используются гистограммы, составленные с учетом накопленных статистических данных по повторяемости режимов полетов вертолета в реальной эксплуатации.

Балочный торсион из ПКМ (см. рис. 2.25), являясь главным силовым элементом торсионной втулки НВ, представляет собой силовую многослойную балку, которая воспринимает растягивающую нагрузку от центробежной силы N , перерезывающие силы Q , изгибающие моменты M в разных плоскостях, кручение, обладая малой крутильной жесткостью. В конструкции упругих торсионов большинства бесшарнирных втулок НВ современных вертолетов используются ПКМ, армированные непрерывными волокнами.

Комлевая и концевая части торсиона представляют собой зоны его крепления с валом и пером лопасти НВ и имеют объемную схему деформирования. Запас прочности этих зон зависит от правильно спроектированных узлов крепления.

Рабочая часть торсиона является наиболее деформируемой, и к ней предъявляются наиболее высокие требования по обеспечению ресурса, особенно при циклическом нагружении.

Нагружение торсиона из ПКМ (см. рис. 2.26) происходит в виде пространственного изгиба консольно-закрепленной балки (в плоскости взмаха лопасти и плоскости вращения несущего винта) и закручивания от системы управления (изменения общего и циклического шага лопасти). При работе торсиона в полете каждое сечение в основном подвергается растяжению и кручению. Распределение центробежной силы по

длине торсиона считается постоянным. При закрутке торсиона на угол торсион закручивается, причем передача управляющего момента на лопасть осуществляется посредством вращения кожуха. Так как угол установки лопасти изменяется в течении одного оборота НВ, а вместе с ним и эксплуатационный угол закрутки торсиона φ , то касательные напряжения в торсионе будут носить переменный характер.

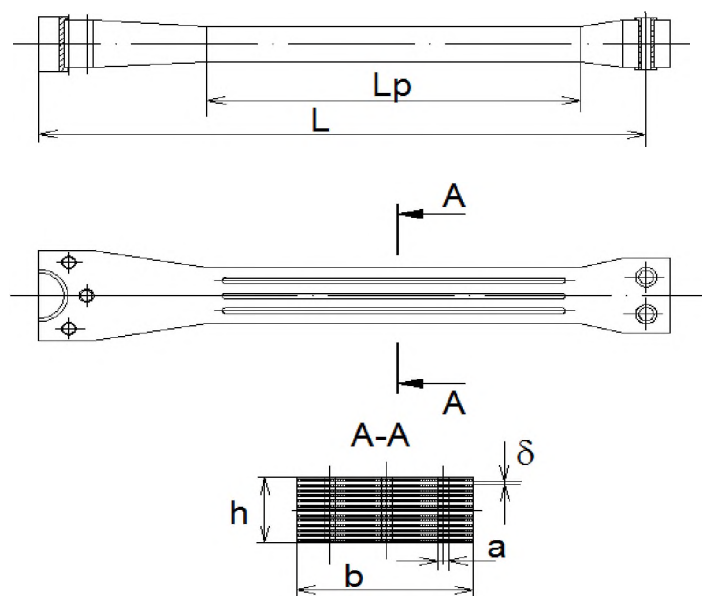


Рис. 2.25 Геометрические размеры композитного торсиона:
L-длина; h-высота; b-ширина; a-ширина прорезей; δ -толщина пакета ПКМ.

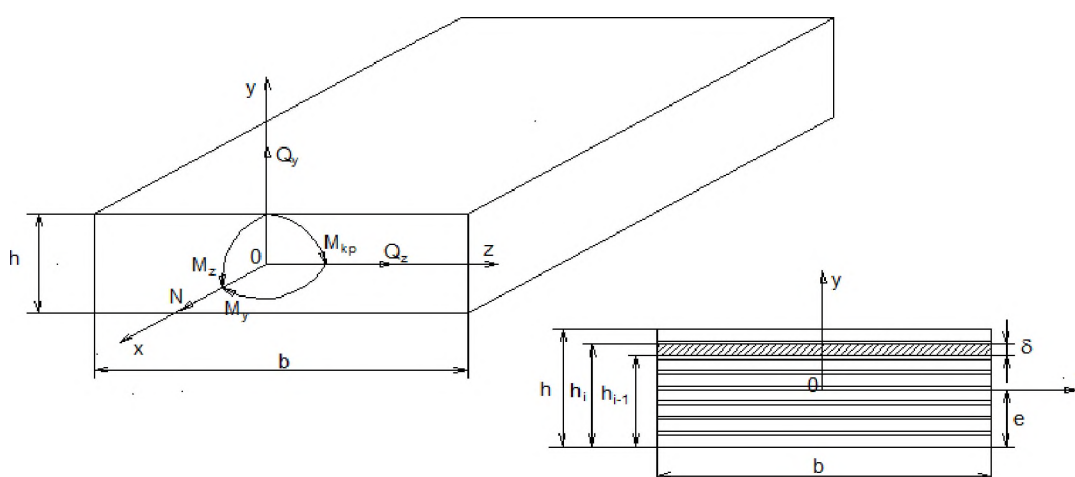


Рис. 2.26 Схема нагружения торсиона балочного типа из ПКМ.

Очень важным, для снижения крутильной жесткости торсиона является применение слоев резины и применение прорезей. При изгибе торсиона в плоскости тяги лопасти (в плоскости минимальной жесткости) при взмахе лопасти на угол β в слоях торсиона возникают нормальные изгибные напряжения. Нормальные напряжения возникают также от изгибающего момента в плоскости вращения (в плоскости максимальной жесткости) торсиона при изгибе лопасти на угол ξ . Максимального значения нормальные усилия достигают во внешних слоях материала торсиона, соответственно там же будет и σ_{max} . При отсутствии горизонтального шарнира (ГШ) лопасть нагружает торсион перерезывающей силой в плоскости тяги постоянной составляющей Q_y , которая воспринимается шаровым шарниром втулки НВ. Анализ нагружения усложняется наличием нелинейных изгибно-крутильных связей, вызванных линейной протяженностью закручиваемого торсиона. При отсутствии вертикального шарнира (ВШ) лопасть нагружает торсион также перерезывающей силой в плоскости вращения Q_z , при вынужденных колебаниях лопасти в плоскости вращения. Она вызывает некоторый изгиб торсиона в плоскости максимальной жесткости и также воспринимается шаровым шарниром втулки НВ.

Колебания лопасти относительно вертикального шарнира ограничиваются жесткостью упругого торсиона. Демпфирование обеспечивается подбором рационального поперечного сечения, соответствующим подбором материалов в композитных пакетах торсиона и их укладкой. С лопасти в плоскости ее взмаха на рукав втулки передается перерезывающая сила. В зоне стеснения деформаций торсиона на соответствующих режимах работы НВ (раскрутки под ветром) допустимые напряжения определяются значениями местных межслоевых напряжений при выпучивании резины и местном отрыве ПКМ от резины. Применение в конструкции упругого торсиона разномодульных анизотропных ПКМ требуют при моделировании их напряженно-деформированного состояния учета анизотропии их свойств.

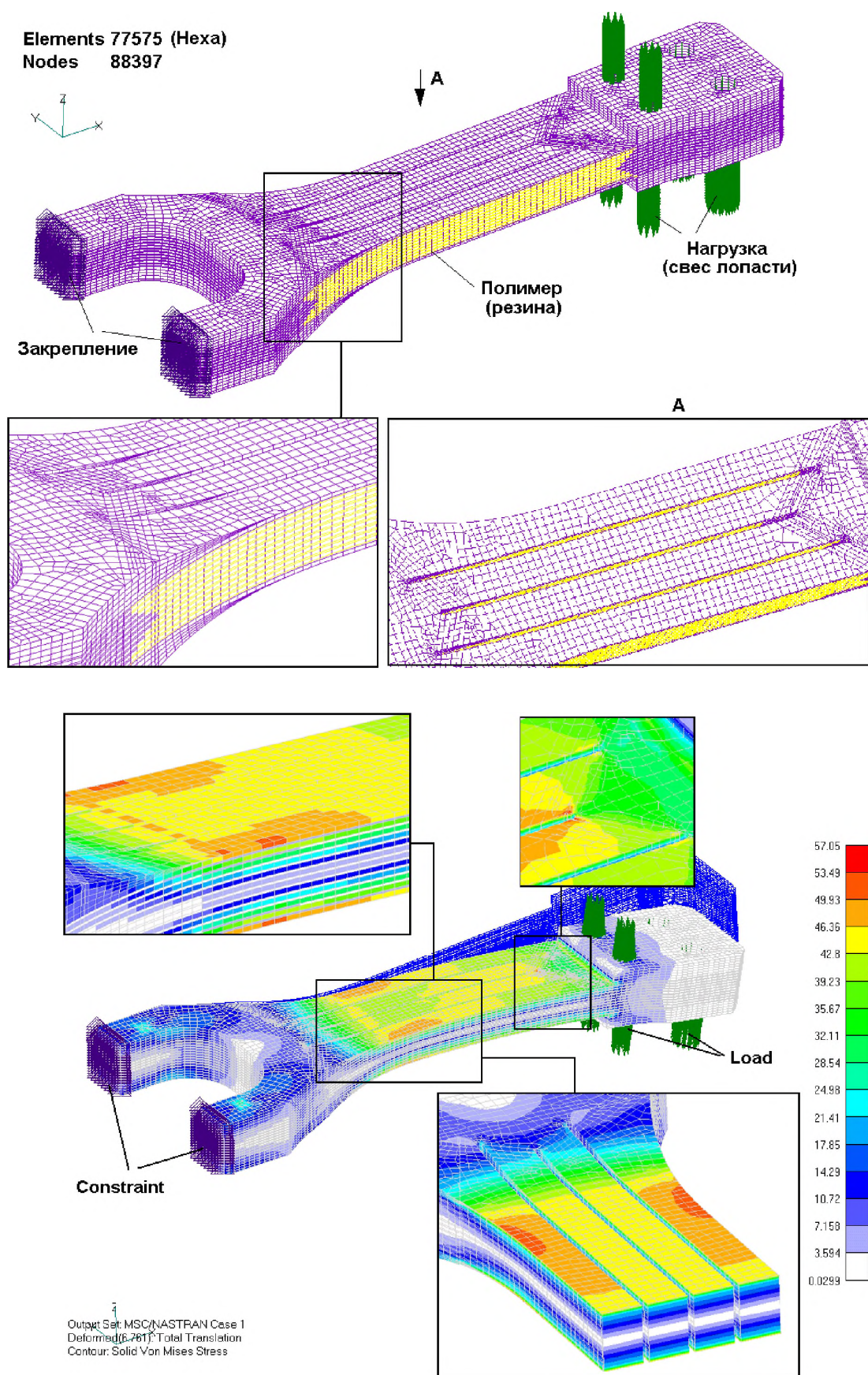


Рис. 2.27 Схема нагружения (а) и распределение эквивалентных напряжений (б) кончно-элементной модели торсиона балочного типа из ПКМ в MSC. NASTRAN/PATRAN.

3. Конструкция втулок винтов вертолетов

3.1. Шарнирная втулка несущего винта вертолета

Шарнирная втулка НВ и по сегодняшний день является наиболее распространенным типом втулки НВ. На рис. 3.1 - 3.6 показаны шарнирные втулки НВ современных вертолетов. Шарнирная втулка НВ состоит из корпуса и рукавов подвески лопастей с шарнирами. Конструктивные параметры втулки НВ позволяют улучшить управляемость и снизить нагрузки.

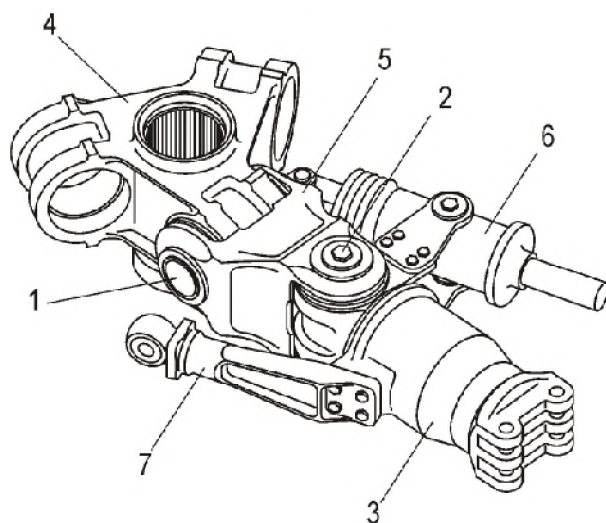


Рис. 3.1 Шарнирная втулка НВ одновинтового вертолета Ми-2 с последовательностью расположения шарниров ГШ-ВШ-ОШ [25]: 1 – горизонтальный шарнир; 2 – вертикальный шарнир; 3 – осевой шарнир; 4 – корпус втулки; 5 – скоба; 6 – демпфер; 7 – рычаг поворота лопасти.

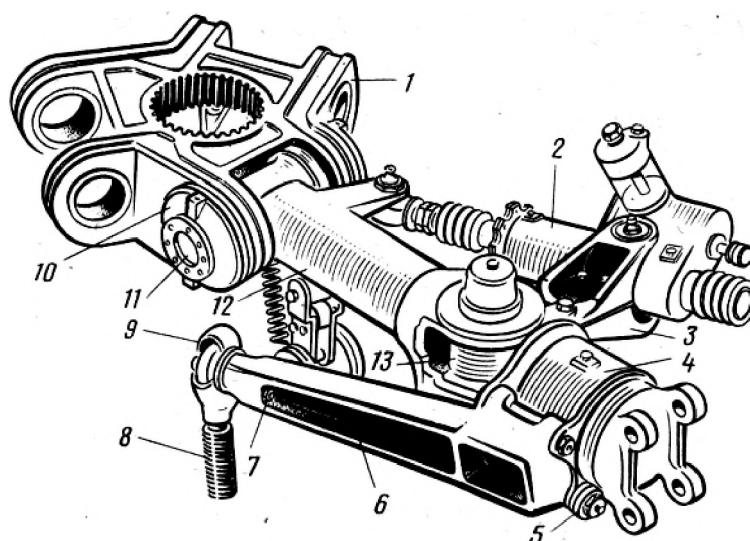


Рис. 3.2 Втулка верхнего НВ вертолета Ка-26 [5]:

1-корпус, 2-гидравлический демпфер, 3-кронштейн, 4-корпус ОШ, 5-балансирующие шайбы, 6-поводок, 7-пресс-масленка, 8-наконечник, 9-чехол, 10-крышка ГШ, 11-масломерное стекло, 12-центробежный ограничитель свеса, 13-палец ВШ.

На зарубежных вертолетах нашли распространение шарнирные втулки с совмещенными горизонтальными и вертикальными шарнирами. Это позволяет сделать втулку более компактной и уменьшить длину рукава и следовательно массу втулки, но в тоже время затрудняется компоновка деталей и узлов такой втулки (см. рис. 3.4).

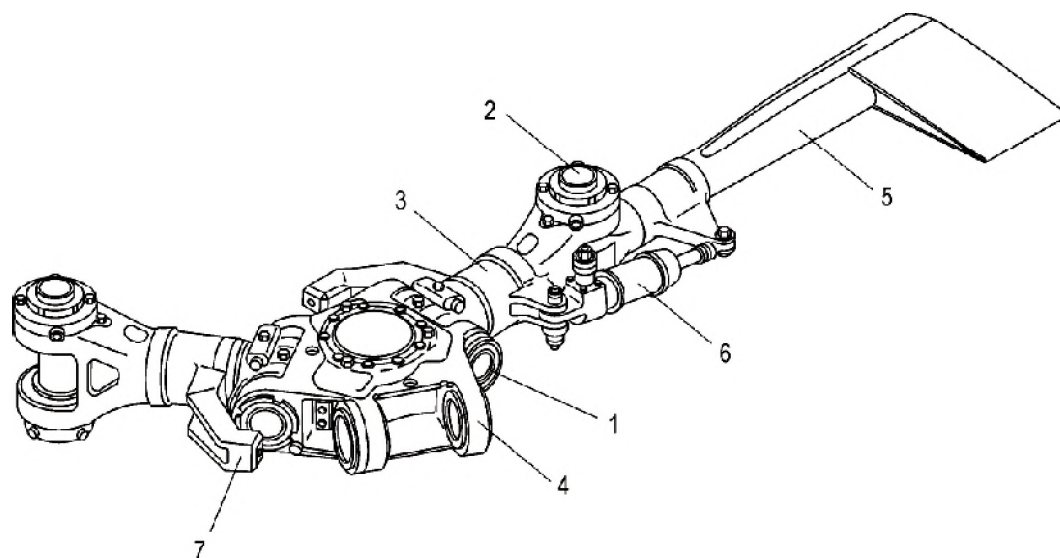


Рис. 3.3 Шарнирная втулка двухвинтового вертолета продольной схемы Boeing CH-47c последовательно расположения шарниров ГШ-ОШ-ВШ [6]:

1 – ГШ; 2 – ВШ; 3 – ОШ; 4 – корпус втулки; 5 – комель лопасти; 6 – демпфер; 7 – рычаг поворота лопасти.

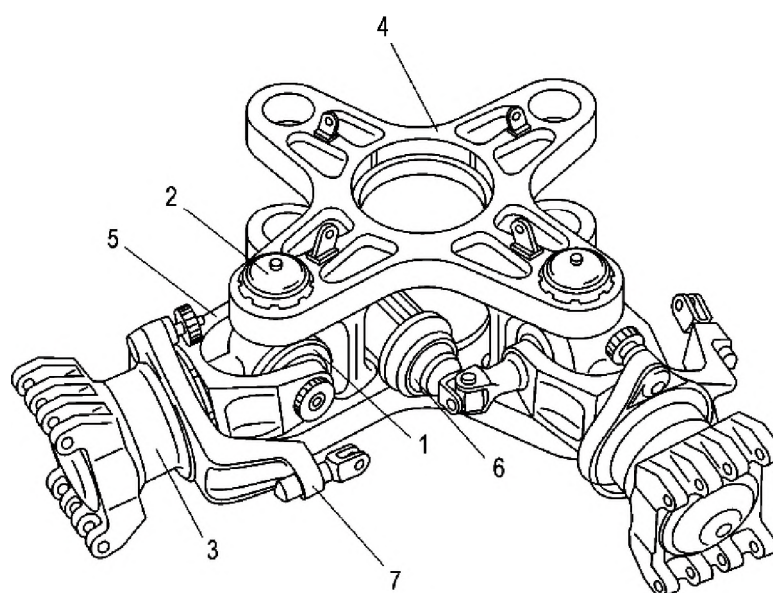


Рис. 3.4 Шарнирная втулка одновинтового вертолета S-58 с совмещенными ГШ и ВШ [7]:

1 – горизонтальный шарнир; 2 – вертикальный шарнир; 3 – осевой шарнир; 4 – корпус втулки; 5 – скоба; 6 – демпфер; 7 – рычаг поворота лопасти.

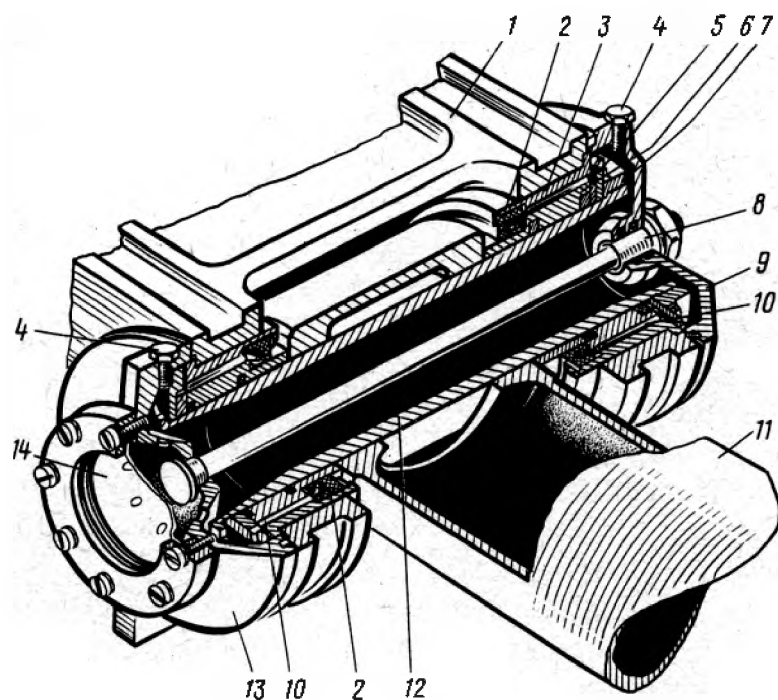
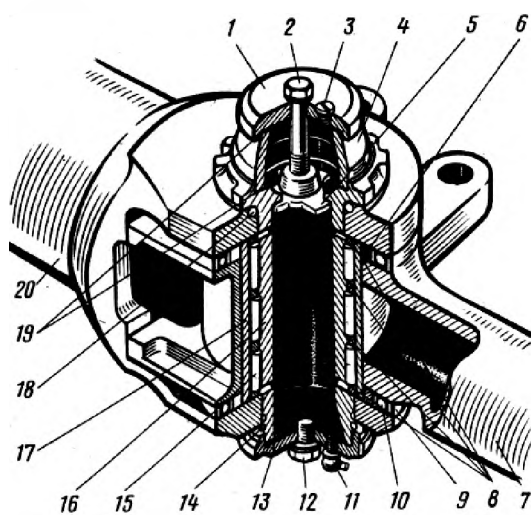
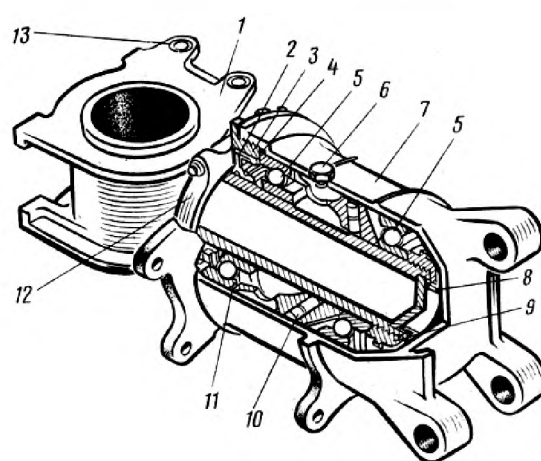


Рис. 3.5 Конструкция горизонтального шарнира втулки НВ вертолета Ка-26 [5]:

1- корпус втулки НВ, 2-армированная манжета, 3-наружное кольцо подшипника, 4-пробка, 5-кольцо упорное, 6-внутреннее кольцо подшипника, 7-гайка, 8-стяжной болт, 9,15-крышка, 10-игольчатый подшипник, 11-вертикальный ограничитель, 12-палец ГШ, 13-крышка, 14-масломерное стекло.



а)



б)

Рис. 3.6 Конструкция вертикального (а) и осевого (б) шарниров втулки НВ вертолета Ка-26:

а: 1-крышка, 2-болт, 3,12-пробка, 4-стакан, 5-шайба, 6-бронзовое кольцо, 7-палец ОШ, 8-кольцо, 9-шайба стопорная, 10,14,18-резиновые кольца, 11-масленка, 13-гайка, 15-игольчатый подшипник, 16-палец ВШ, 17-гильза, 19-прокладка, 20-вертикальный ограничитель.

б: 1-палец ОШ, 2-армированная манжета, 3,9-гайки, 4-резиновое кольцо, 5-радиальный шарикоподшипник, 6-пробка, 7-корпус ОШ, 8-шлицевая втулка, 10-роликовый подшипник, 11-кольцо регулировочное, 12-хомут, 13-ушки.

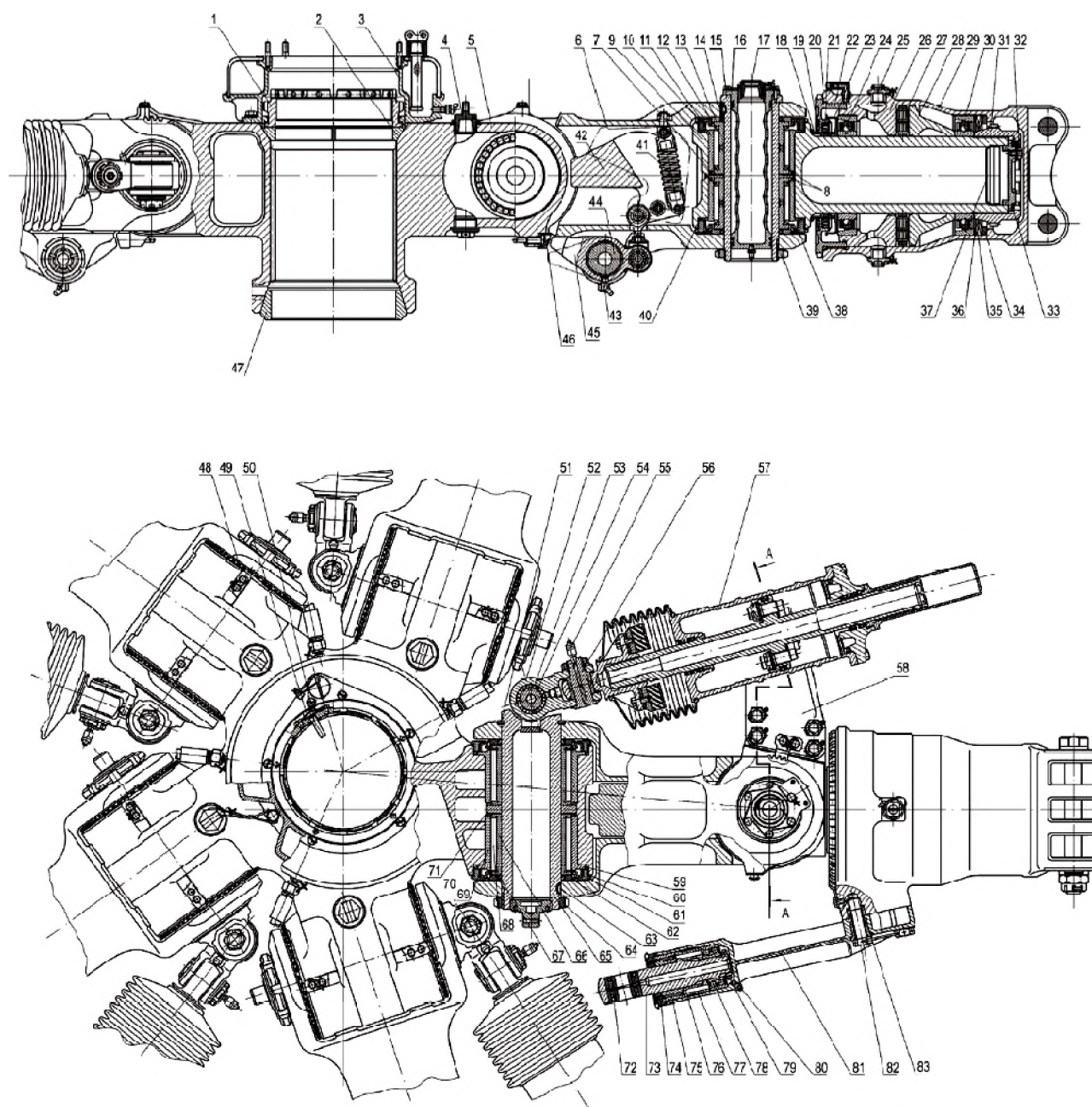


Рис. 3.7 Конструкция шарнирной втулки НВ вертолета Ми-8 [8]:

1 – гайка вала; 2 – конус верхний; 3 – бачок гидродемпферов; 5 – корпус втулки; 6 – скоба; 9 – цапфа осевого шарнира; 11 – наружное кольцо подшипника; 12 – внутреннее кольцо подшипника; 15 – палец вертикального шарнира; 16 – стакан; 24 – радиальный шарикоподшипник; 26 – распорная втулка; 27 – роликовый подшипник; 29 – корпус осевого шарнира; 30 – радиальный шарикоподшипник; 32 – стопор; 35 – тарельчатая пружина; 42 – противовес; 44 – ось собачки; 45 – собачка; 46 – упор; 47 – нижний конус; 52 – серьга; 56 – палец серьги; 57 – гидродемпфер; 58 – кронштейн; 62 – кольцо горизонтального шарнира; 65 – палец горизонтального шарнира; 66 – внутреннее кольцо игольчатого подшипника; 67 – уплотнительное кольцо; 68 – ролик игольчатого подшипника; 69 – наружное кольцо игольчатого подшипника; 72 – подшипник; 73 – валик; 74 – крышка; 75 – роликовый подшипник; 76 и 77 – распорные втулки; 78 – шарикоподшипник; 81 – рычаг поворота лопасти.

Втулка несущего винта вертолета Ми-8 (рис. 3.7) является типичным представителем конструкции трехшарнирных втулок, использующих в качестве шарниров подшипники качения. Втулка имеет разнесенные горизонтальные, вертикальные и осевые шарниры.

Основными деталями втулки НВ являются: корпус втулки 5, скобы 6, цапфы 9 ОШ, корпуса 29 ОШ, рычаги 83 поворота лопастей и гидравлические демпферы вертикальных шарниров 57.

Корпус 5 втулки изготовлен из высокопрочной легированной стали. В центре корпуса имеется отверстие с эвольвентными шлицами, которыми он соединяется со шлицами вала НВ.

Корпус 5 имеет пять широких проушин (по числу лопастей), оси которых лежат в одной плоскости под углом $72^{\circ} \pm 3'$ друг к другу. Середины проушин смещены по направлению вращения на 45 мм вдоль оси ГШ. При таком смещении равнодействующая аэродинамических и центробежных сил лопасти на основных режимах полета вертолета направлена по нормали к оси горизонтального шарнира. Это обеспечивает более равномерное распределение нагрузки между парой рядов игольчатых подшипников ГШ, а также более равномерное нагружение роликов упорного подшипника ОШ. Внутри каждой проушины имеется полость для смазки подшипников ГШ. С этой целью на корпусе втулки имеется пять отверстий, закрытых пробками 4. Слив масла из полости осуществляется через сливные отверстия снизу. В верхней части корпуса имеется фланец, к которому шпильками крепится бачок гидродемпферов ВШ, а в нижней части - отверстие под штифт фиксации кронштейна серьги поводка тарелки автомата перекоса.

К проушинам корпуса с помощью пальцев 67 ГШ присоединяются скобы. Эти соединения образуют ГШ втулки НВ. В каждой проушине корпуса устанавливаются наружные кольца 71 двух игольчатых подшипников и закрепляются гайками 62. Между кольцами установлены две бронзовые шайбы 72, исполняющие роль упорных подшипников скольжения. Бронзовые шайбы воспринимают осевые усилия, возникающие при колебаниях лопасти во-

круг оси вертикального шарнира, когда лопасти отклоняются от прямой, перпендикулярной оси горизонтального шарнира. Между бронзовыми шайбами 72 и внутренними кольцами 68 игольчатых подшипников устанавливается стальное упорное кольцо 73. Внутренние кольца 68 игольчатых подшипников, а также хромированные кольца 64, по которым работают резиновые армированные манжеты 63 гаек 62, установлены на пальце ГШ и стянуты между проушинами скобы с помощью гайки 66. Палец 67 ГШ упирается в стенку проушины скобы разрезным закладным кольцом 51, установленным в канавке пальца, и фиксируется от проворачивания сегментной шпонкой 65, что необходимо для предотвращения износа пальца. Палец горизонтального шарнира имеет проушины для крепления гидравлического демпфера. Внутренняя полость ГШ уплотняется резиновыми армированными манжетами 63 и уплотнительными кольцами.

Для ограничения поворота лопасти вокруг оси ГШ на корпусе 5 втулки и скобах 6 имеются специальные упоры. Нижние упоры на скобе комбинированные. Они состоят из центробежных и постоянных ограничителей свеса. Центробежные ограничители являются ограничителями свеса лопастей при неработающих двигателях на земле. Они включаются в работу при частоте вращения несущего винта менее 108 об/мин. Постоянные нижние упоры ограничивают маховые движения лопастей при вращении несущего винта с частотой вращения более 108 об/мин. Нижние упоры на корпусе втулки сделаны съемными, что позволяет заменять их в эксплуатации в случае появления наклепа, трещин или других дефектов. При нормальной работе НВ в полете лопасти, совершая маховые движения, не достигают упоров в виду наличия большой центробежной силы, действующей на лопасть, которая является естественным регулятором взмаха и удерживает лопасти вблизи плоскости вращения втулки, позволяя им совершать небольшие по амплитуде маховые движения. Ограничение нижнего положения лопастей производится с целью создания определенного расстояния между концами лопастей и хвостовой балкой, чтобы предотвратить удар лопастей о балку.

Скоба 6 представляет собой деталь коробчатого сечения, на концах которой имеются проушины для соединения с корпусом 5 и цапфой 9 осевого шарнира. Оси проушин расположены под прямым углом друг к другу. Снизу на скобе имеются две проушины, в которые устанавливается палец собачки центробежного ограничителя свеса лопасти.

Вертикальный шарнир втулки НВ образован проушинами скобы 6 и проушиной цапфы 9 осевого шарнира. В проушине цапфы осевого шарнира устанавливаются наружные кольца 11 двух игольчатых подшипников и закрепляются гайками 10, ввернутыми в расточку цапфы. Гайки 10 контрятся пластинчатыми замками. Между наружными кольцами подшипников установлены две бронзовые шайбы 8, которые воспринимают осевую нагрузку, и стальное упорное кольцо 7. Внутренние кольца 12 игольчатых подшипников, упорные кольца 13 надеты на палец 15 ВШ и стянуты между проушинами скобы гайкой 39.

Внутренние кольца подшипников имеют по краям буртики, между которыми укладываются иглы. Палец фиксируется в проушинах скобы сегментной шпонкой. Внутренняя полость ВШ уплотняется двумя армированными резиновыми манжетами 38, установленными в расточках гаек 10 и резиновыми кольцами 14 и 40, которые аналогичны по конструкции соответствующим деталям горизонтального шарнира. Палец 15 ВШ пустотелый. Во внутренней полости пальца установлен сепаратор 16. В верхней части сепаратора на резьбе установлена крышка с заливной пробкой 17. Заливная пробка уплотняется медноасбестовым кольцом. Колебания лопасти вокруг оси вертикального шарнира ограничиваются упорами на скобе 6 и головной части цапфы 9 осевого шарнира.

Осевой шарнир втулки НВ образован соединением цапфы 9 и корпуса 29 ОШ. Цапфа ОШ в головной части имеет два фланца для крепления кронштейнов 60 гидравлического демпфера. Внутренняя цилиндрическая полость головной части цапфы служит для монтажа игольчатых подшипников вертикального шарнира. Цапфа имеет хвостовик с резьбовым участком на конце.

На хвостовике цапфы установлены подшипники ОШ: два шариковых радиальных 24 и 30, которые воспринимают усилия от изгибающих моментов, действующих на лопасть, один роликовый 27, воспринимающий центробежную силу, действующую на лопасть.

Сепаратор упорного двухрядного роликового подшипника 27 имеет для установки роликов гнезда, ось которых составляет угол $\gamma = 0^\circ 50'$ с радиальным направлением; вследствие такого расположения гнезд при периодических колебаниях лопасти вокруг оси ОШ, имеющих место в полете, сепаратор не только колеблется, но и непрерывно вращается в одном направлении. Вращение сепаратора происходит с небольшой скоростью. Непрерывное вращение сепаратора при качательном движении приводит к тому, что беговые дорожки колец подшипника полностью участвуют в работе. При этом сокращается число повторных напряжений, испытываемых отдельными участками дорожек качения. В результате значительно увеличивается срок службы подшипников, а также ресурс осевых шарниров и втулки несущего винта в целом.

Корпус 29 осевого шарнира выполнен в виде стакана, на днище которого с наружной стороны имеется гребенка с проушинами для крепления лопасти. На другом конце внутри стакана имеется резьба под гайку 19 и наружный фланец для крепления рычага поворота лопасти 83. В корпусе осевого шарнира устанавливаются регулировочное кольцо 34, две тарельчатые пружины 35 и шайба 36, а затем вставляется хвостовик цапфы с закрепленными на нем деталями и подшипниками. Весь узел затягивается гайкой 19. Уплотнение внутренней полости осевого шарнира обеспечивается резиновыми кольцами 20 и манжетами 21. Смазка подшипников ОШ осуществляется маслом, заливаемым в корпус ОШ через верхнее отверстие в корпусе, а слив масла производится через отверстие снизу. Рычаг поворота 81 лопасти крепится к фланцу корпуса осевого шарнира четырьмя болтами. В проушине валика 75 на двух шарикоподшипниках 74 устанавливается палец, соединяющий рычаг поворота лопасти с тягой автомата перекоса.

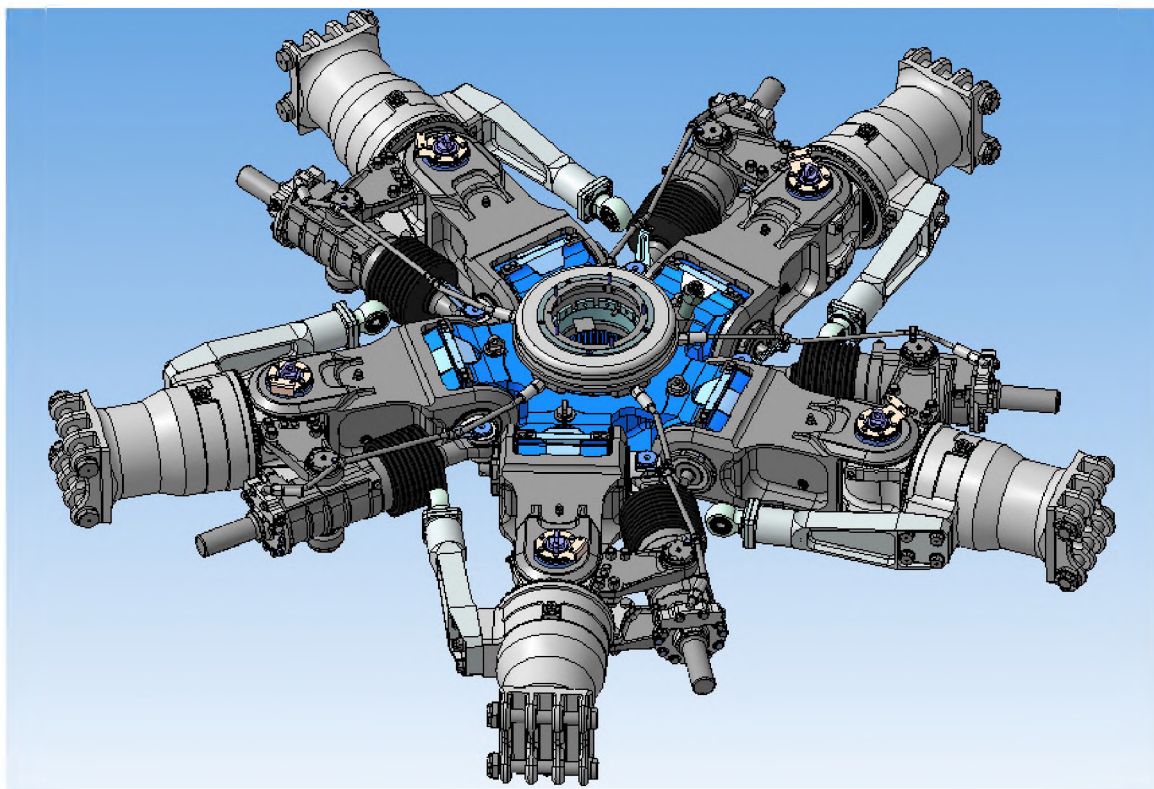


Рис. 3.8 Общий вид шарнирной втулки НВ вертолета Ми-24А:

1-гидравлический демпфер, 2-осевой шарнир, 3-вертикальный шарнир, 4-горизонтальный шарнир, 5-корпус

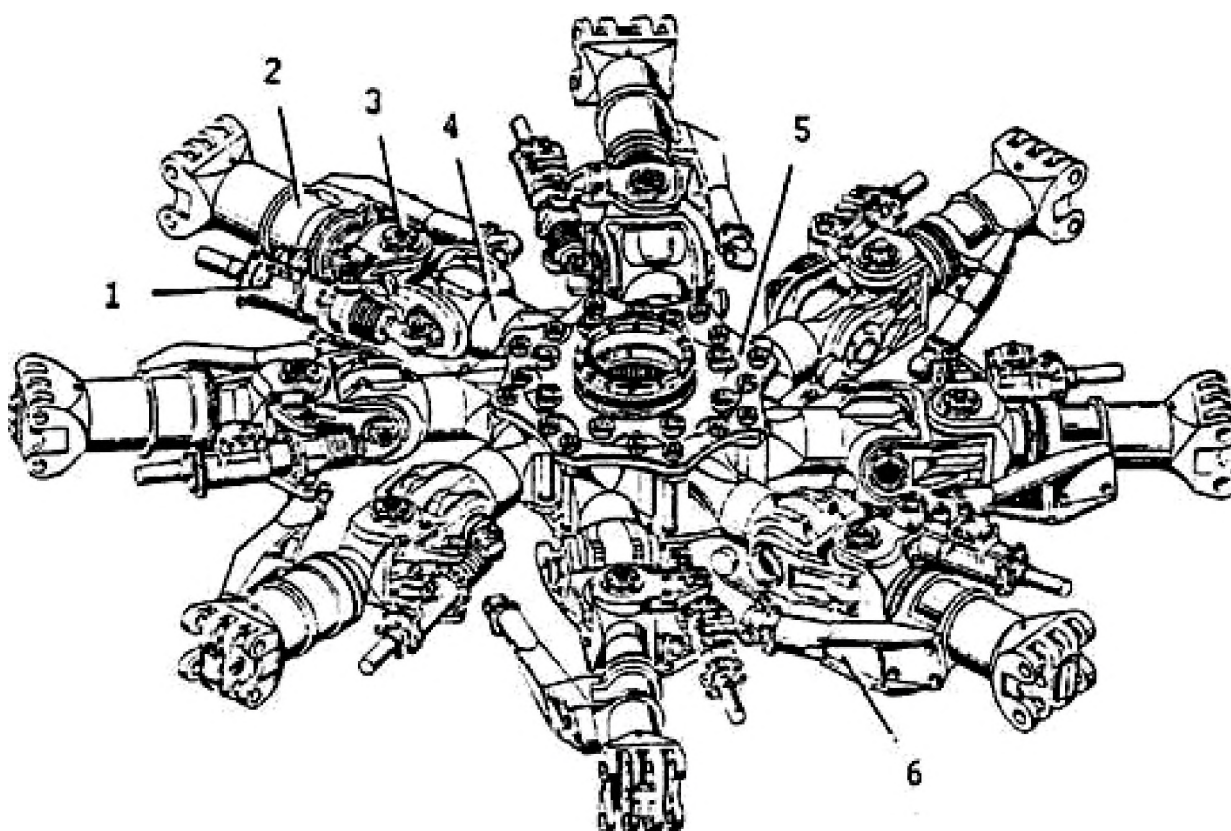


Рис. 3.9 Элементы шарнирной втулки НВ вертолета Ми-26 [9]:

1-гидравлический демпфер, 2-осевой шарнир, 3-вертикальный шарнир, 4-горизонтальный шарнир, 5-корпус втулки НВ, 6-рычаг поводка лопасти

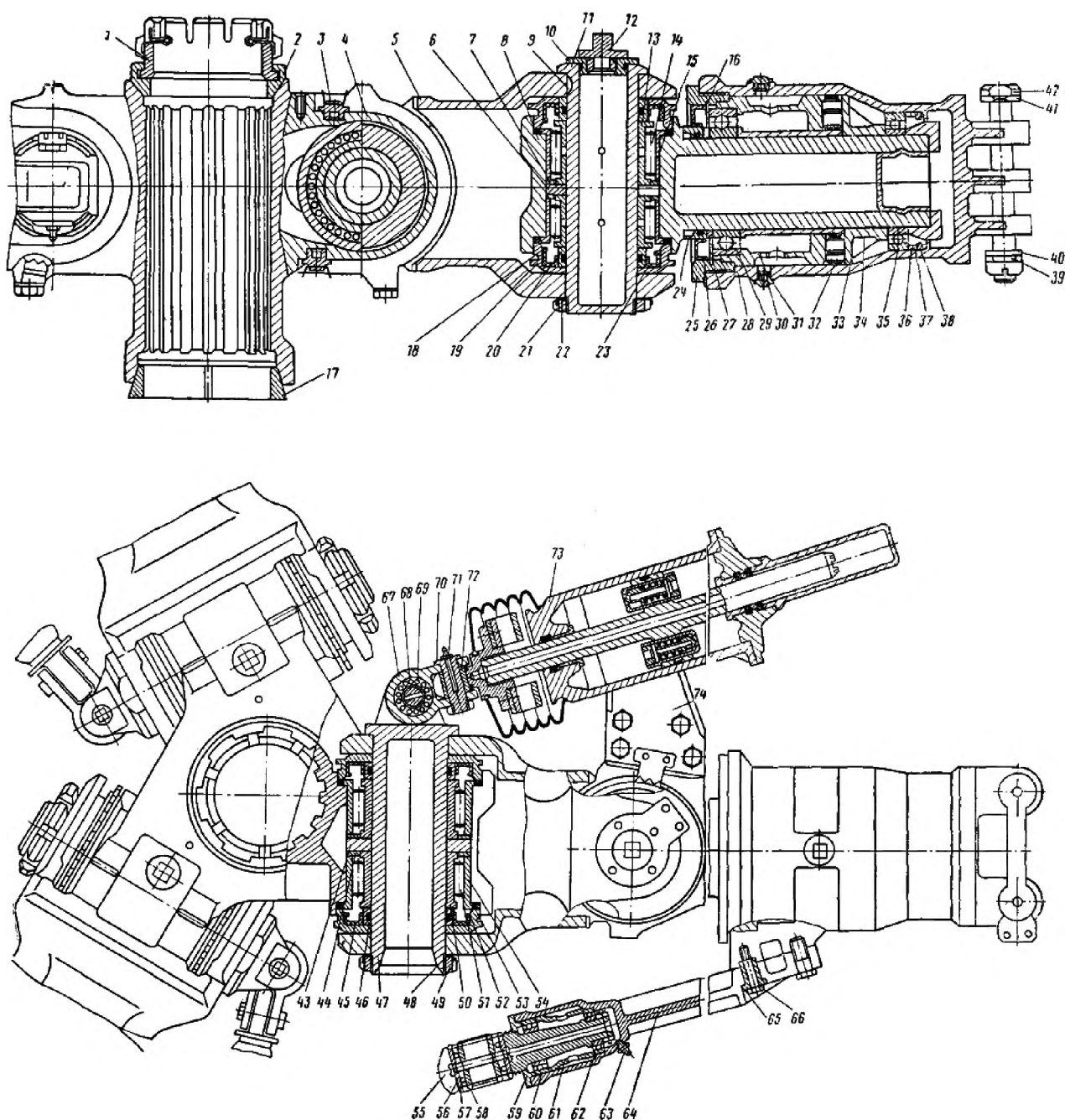


Рис. 3.10 Конструкция шарнирной втулки НВ вертолета Ми-2 [25]:

1 – гайка вала; 2-стальное конусное кольцо; 3,12,31-пробки; 4-корпус втулки НВ; 5-скоба; 6,7,40,43,44-упорные шайбы; 8-цапфа ОШ; 9-шпонка; 10-крышка; 11,47-пальцы; 13,50-внутренние кольца игольчатых подшипников; 14,51-ролики игольчатые; 15,54-наружные кольца игольчатых подшипников; 16,19,53-кольца стопорные; 17-конусное кольцо; 18,25,52-гайки шарниров; 20,24,46- втулки; 21,49-гайки пальцев; 22,48,39-гайки контровочные; 23,26,45 -манжеты; 27-кольцо маслоотражательное; 28-корпус ОШ; 29,35,56,60,62-шариковые подшипники; 30,61-распорные втулки; 32-роликовый подшипник; 33-кольцо роликового подшипника; 34-гайка цапфы; 36-упорное кольцо; 37-тарельчатая пружина; 38-регулирующее кольцо; 42-болт; 55-валик шарнира рычага лопасти; 59-крышка; 63,71-масленки; 64-рычаг поворота лопасти; 69-игольчатый подшипник; 73-гидравлический демпфер, 74-кронштейн гидравлического демпфера.

На легких вертолетах получила распространение втулка с общим ГШ (рис. 3.11). Такая втулка очень простая и легкая, но применяется только на двухлопастных НВ. Движение лопастей в плоскости взмаха осуществляется посредством колебаний ступицы втулки в совмещенном шарнире. Недостатками такой втулки являются большие изгибающие моменты в ОШ и комлях лопастей, а также вибрации, вызываемые второй гармоникой аэродинамических сил.

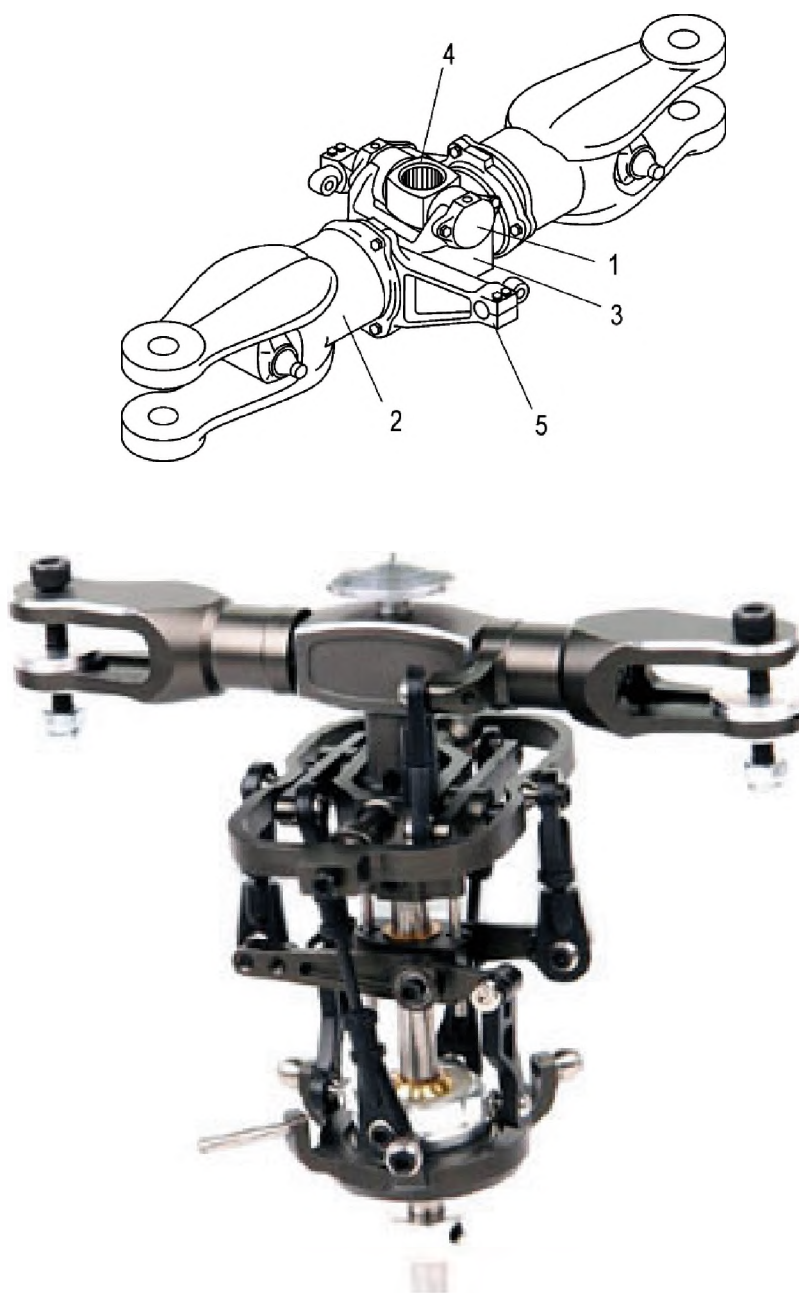


Рис. 3.11. Шарнирная втулка одновинтового вертолета с общим ГШ [9]:

1 – совмещенный ГШ; 2 – осевой шарнир; 3 – коромысло; 4 – ступица втулки; 5 – рычаг лопасти.

Основными показателями, характеризующими достоинства и совершенство конструкции шарнирных втулок НВ, являются:

- хорошая несущая способность подшипников ГШ, ВШ и ОШ;
- низкий уровень напряжений при действии переменных нагрузок;
- приемлемый ресурс и возможность его дальнейшего увеличения;
- работоспособность демпферов, технологичность и простота ТО и Р.

Основными недостатками шарнирных втулок НВ являются:

- из-за махового движения лопастей в шарнирах увеличивается время отклика вертолета на управляющее воздействие на рычагах управления из-за инертности лопастей по сравнению с бесшарнирными втулками НВ (полужесткими и жесткими типами втулок НВ);

- большая масса и габариты шарнирных втулок НВ по сравнению с другими типами;

- необходимость смазки шарниров, и в соответствии с этим необходимость периодического технического обслуживания шарнирных втулок НВ;

- большое время предполетного осмотра и трудоемкость технического обслуживания и ремонта шарнирной втулки НВ вертолета;

- необходимость проведения неразрушающего контроля (НК) элементов шарнирных втулок на предмет появления усталостных трещин;

- сложность и дороговизна производства шарнирных втулок при изготовлении вертолета в целом;

- часто необходимость внедрения в конструкцию шарнирных втулок различных демпферов колебаний в плоскости взмаха и вращения лопастей;

- склонность шарнирных втулок к различным резонансным явлениям, типа "земной резонанс".

3.2 Бесшарнирные втулки несущего винта вертолета

Общей для новых бесшарнирных втулок НВ перспективных вертолетов стала тенденция к полной или частичной замене традиционных металлических шарниров теми или иными упругими элементами, обеспечивающими необходимые перемещения лопастей за счет собственной податливости. Бесшарнирные втулки легче шарнирных на 15-20 %.

Бесшарнирные втулки НВ с упругими элементами конструктивно делятся на:

- втулки НВ с пластинчатым V-образным торсионом;
- втулки НВ с эластомерным подшипником;
- втулки НВ с упругим элементом типа Starflax;
- втулки НВ с упругими торсионами балочного типа;
- втулки НВ с упругими торсионами осевого шарнира.

Конструктивно все типы бесшарнирных втулок зависят от того, как разработчик справляется с решением всех функциональных задач такой втулки:

- 1) Разделение колебаний лопастей винта в плоскостях взмаха, вращения и при кручении и обеспечения их частотной отстройки;
- 2) Обеспечение потребного уровня деформирования лопастей в соответствующих плоскостях;
- 3) Обеспечение необходимого ресурса агрегата по условиям усталостной прочности.

Применение бесшарнирных втулок позволяет существенно увеличить ресурс втулки НВ, а также позволяет существенно снизить время предполетного осмотра и технического обслуживания вертолета. В некоторых случаях снижается уровень вибраций фюзеляжа вертолета при применении таких втулок. Общим недостатком бесшарнирных втулок с упругими элементами является плохая работа компенсатора взмаха.

3.2.1 Втулка несущего винта с пластинчатым V-образным торсионом

Основным силовым элементом бесшарнирной втулки НВ этого типа является упругий V-образный стальной торсион (см. рис. 3.12), который одним концом крепится к корпусу втулки, а другим соединяется с переходником крепления лопасти НВ. В своей конструкции втулка НВ имеет шаровую опору и демпфер колебаний в плоскости вращения лопасти.

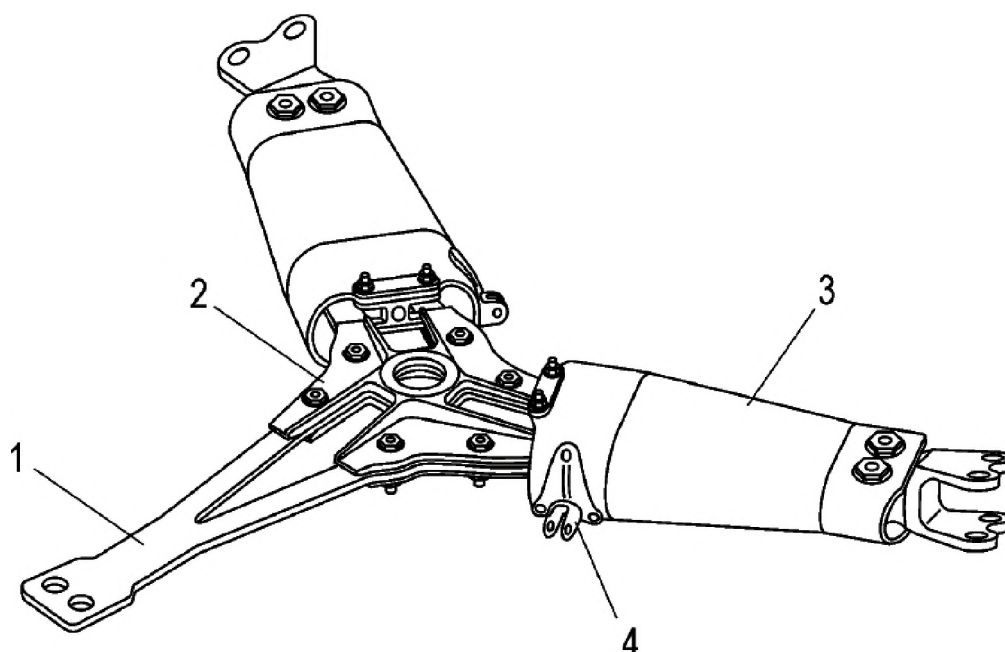


Рис. 3.12 Схема втулки с пластинчатым V-образным торсионом: 1 – пластинчатый V-образный торсион; 2 – корпус втулки; 3 – кожух; 4 – рычаг поворота лопасти.

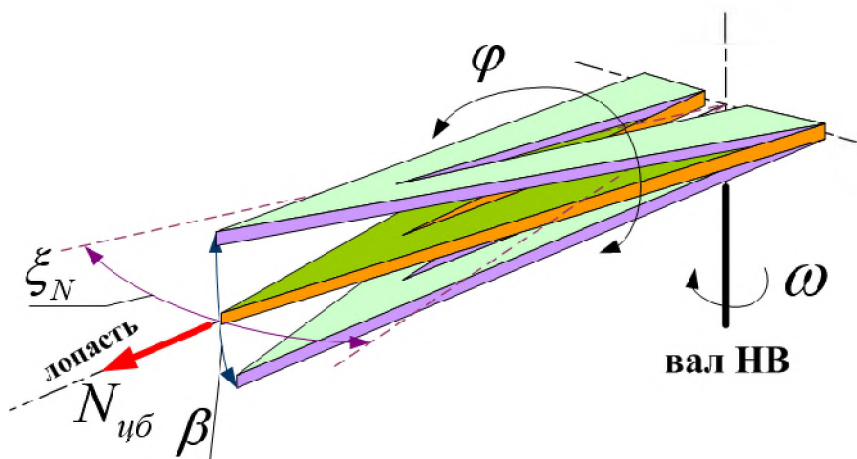


Рис. 3.13 Геометрические и кинематические параметры V-образного торсиона.

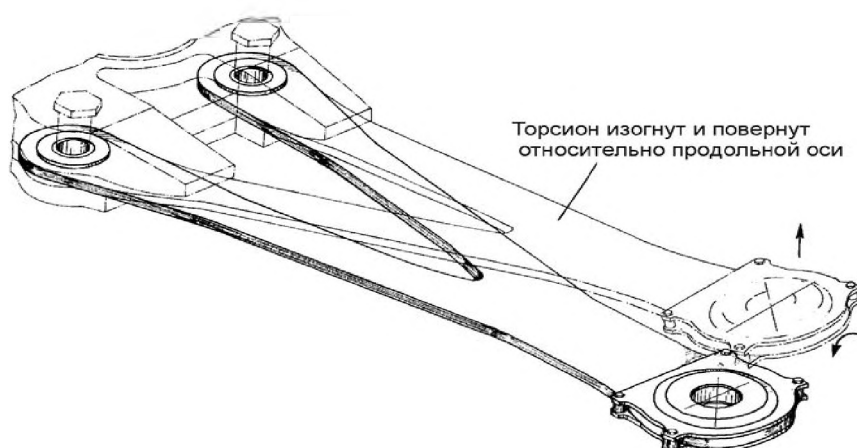


Рис. 3.14 Схема нагружения V-образного пластинчатого торсиона [12]

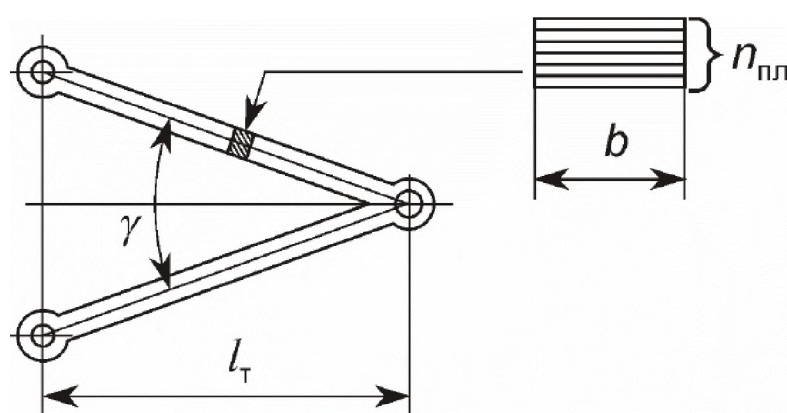


Рис. 3.15 Конструктивные параметры V-образного пластинчатого торсиона: l_T - рабочая длина торсиона, γ - угол между ветвями торсиона, b - ширина пластин ветвей торсиона, $n_{пл}$ - количество пластин торсиона, δ - толщина пластин торсиона.

Пластинчатый упругий торсион воспринимает центробежную силу $N_{цб}$, позволяет лопасти совершать маховое движение в разных плоскостях и, закручиваясь от рычага поворота лопасти и кожуха, изменять угол установки лопасти (рис. 3.13 - 3.14). Конструктивно состоит из набора (пакета) пластин из высокопрочной стали (рис. 3.15). Основное достоинство пластинчатого торсиона заключается в том, что он отделяет нагрузки, связанные с маховым движением лопасти, от крутильных нагрузок, позволяя тем самым увеличить амплитуду взмаха при уменьшении разноса шарниров втулки.

На рис. 3.16 - 3.17 показаны общий вид и конструкция торсионной втулки верхнего НВ вертолета Ка-226А с упругой балкой - демпфером из стеклопластика.

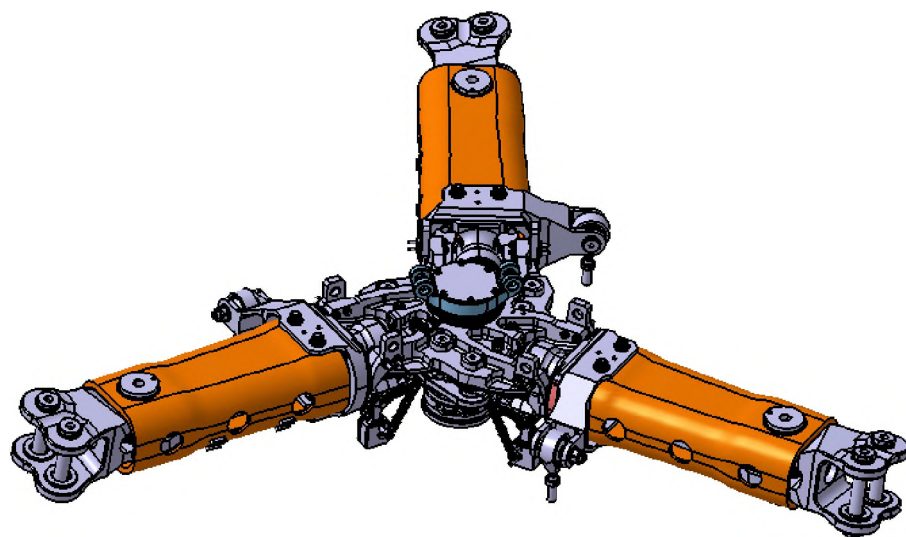


Рис. 3.16 Втулка с пластинчатым V-образным торсионом соосного вертолета Ка-226А [12]

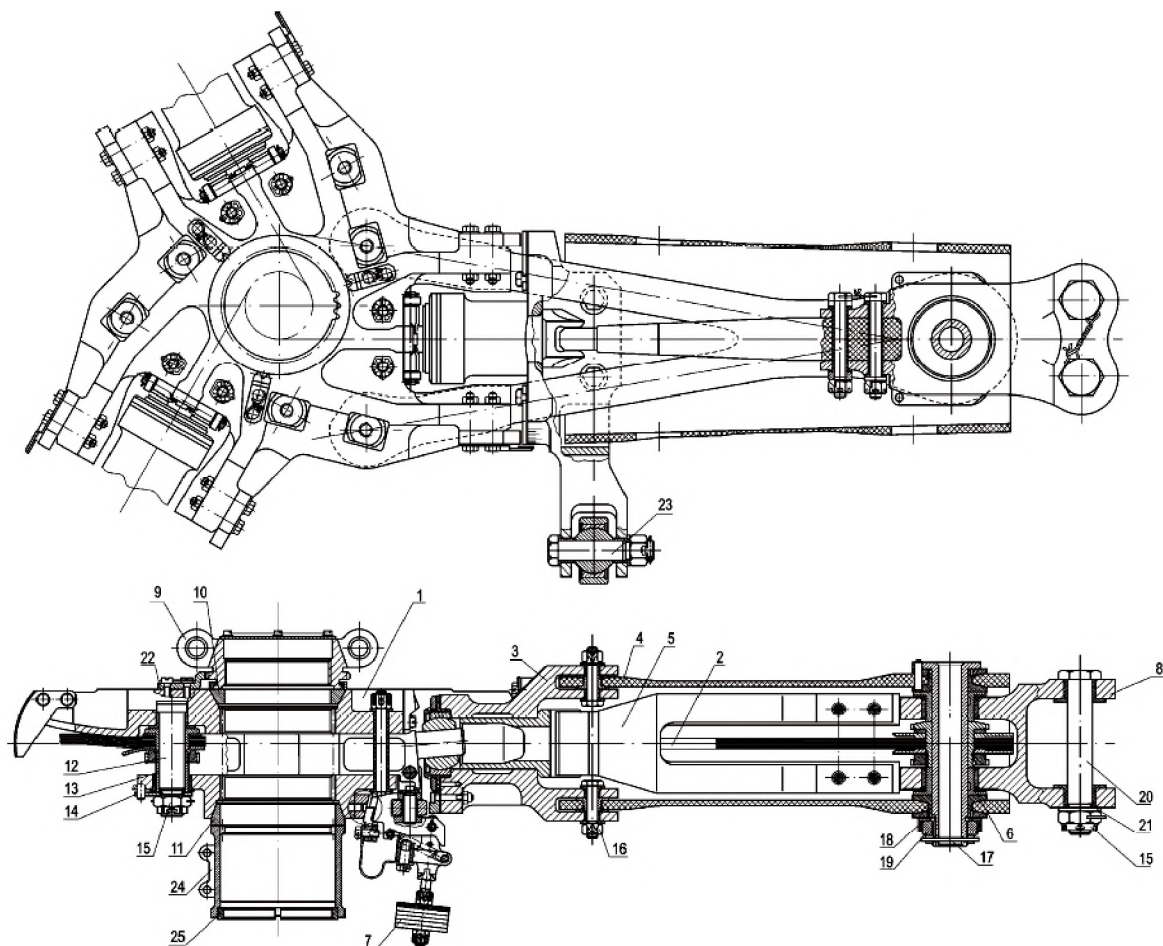


Рис. 3.17 Конструкция втулки НВ Ка-226А с пластинчатым V-образным торсионом [11]:

1 – корпус; 2 – пластины торсиона; 3 – поводок; 4 – кожух; 5 – упругая балка-демпфер ВШ; 6 – разрезная втулка; 7 – ограничитель свеса лопасти; 8 – переходник лопастей; 9 – рымгайка; 10 и 11 – конусы; 12 – болт; 13 – втулка; 14 – шайба; 15 – гайка; 16 – болт; 17 – палец; 18 – стопорная шайба; 19 – гайка; 20 – болт; 21 – шайба; 22 – стопор; 23 – болт; 24 – стакан; 25 – разрезное кольцо.

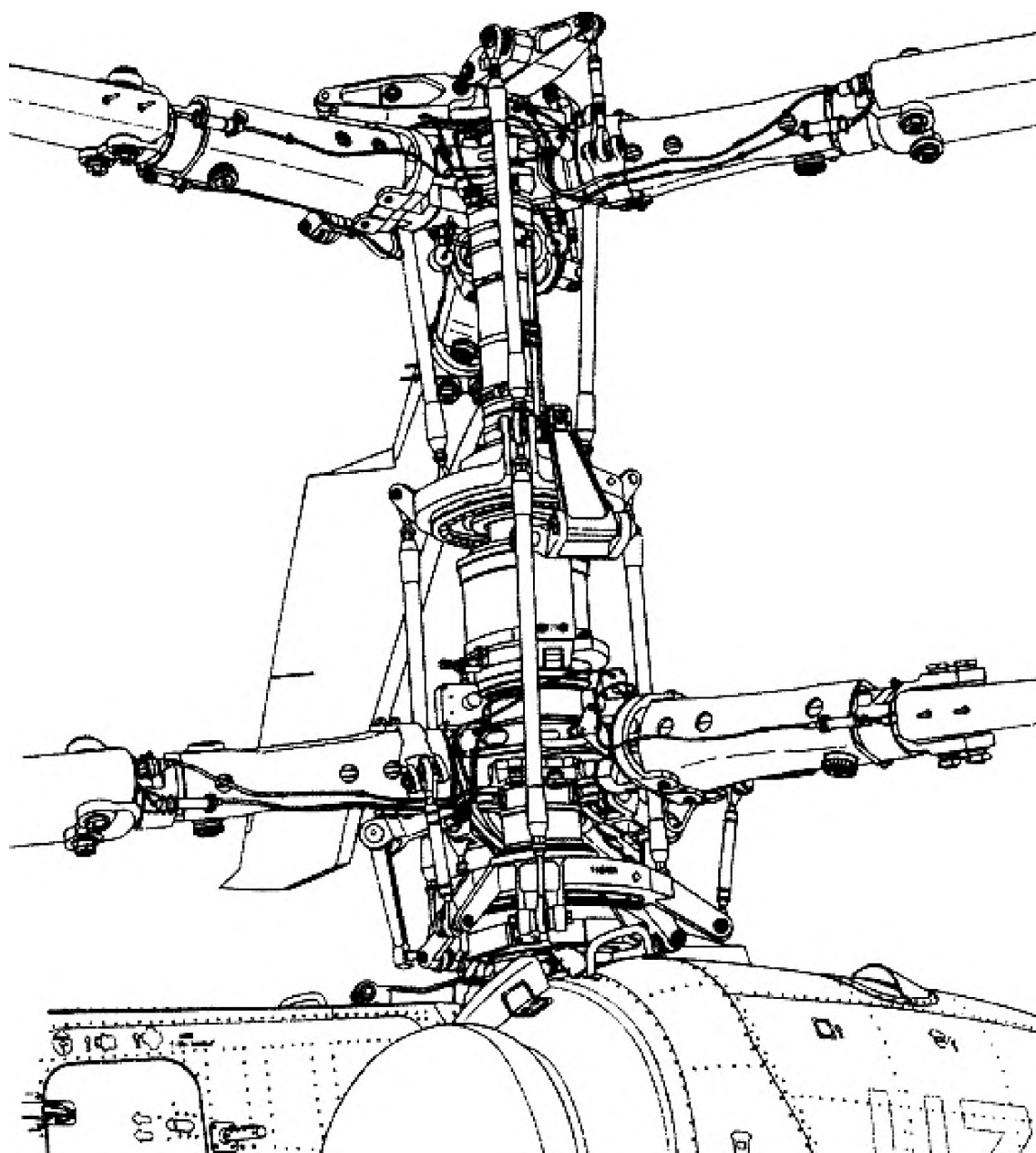


Рис. 3.18 Общий вид колонки соосных несущих винтов вертолета Ка-50 [23]

Вертолет Ка-226 имеет соосный несущий винт, состоящий из верхнего и нижнего винтов. Конструкция втулок верхнего и нижнего винтов практически одинакова. Их характерной особенностью является наличие пластинчатого универсального V-образного торсиона.

Для восприятия поперечных сил на втулке с торсионом делают центрирующую шаровую опору. Поэтому, торсион нагружен только в своей плоскости центробежной силой. Кожух из стеклопластика передает управляющее воздействие от поводка к торсиону. Для осмотра перед вылетом на предмет

образования трещин в пластинах торсиона, кожух имеет специальные отверстия. Похожая по конструкции втулка НВ была применена на ударном вертолете Ка-50 (см. рис. 3.18).

Корпус втулки 1 состоит из кронштейна, верхней и нижней половин, выполненных из титанового сплава. На корпусе установлены шесть силовых болтов 12. Болты 12 служат для крепления ветвей пластинчатых торсионов 2 к корпусу втулки. Узел крепления каждой ветви торсиона притягивается к верхней половине корпуса 1 гайкой 15 через втулку 13. Гайка 15 контрится шплинтом 30 и дополнительно проволокой 39. В месте соприкосновения ветвей торсиона поверхность верхнего корпуса выполнена с определенной кривизной относительно большого радиуса для исключения резких перегибов пластин торсиона в процессе махового движения лопасти несущего винта.

На другом конце V - образного торсиона имеется одно отверстие для его соединения с переходником лопасти 8, выполненным из титанового сплава. Для соединения лопасти с втулкой переходник имеет пару проушин и установленные в нем два болта 20 с гайкой 15, шайбой 21. После заворачивания гайка 15 контрится шплинтом 15 и проволокой 39. Крепление торсиона к переходнику лопасти осуществляется с помощью пальца 17 и насаженного на него набора разрезных втулок и упорных пластин. Палец 17 служит также для соединения торсиона и переходника лопасти с кожухом рукава втулки.

Кожух рукава обеспечивает жесткую связь на кручение между переходником лопасти 8 и поводком рукава втулки 3 для управления углом установки лопасти. Он имеет коробчатую форму и изготовлен из стеклопластика. В местах установки пальца 17 в отверстия кожуха вклеены предварительно затянутые бобышки. Установленный в бобышки палец 17 стягивается гайкой 19, которая стопорится шайбой 18 и контрится проволокой 31. С другой стороны кожух имеет узлы крепления с поводком втулки 3. Оно осуществляется болтами 16, стянутыми гайками 34, которая стопорится шайбой 37 и контрится шплинтом 27. В местах установки болтов 16 в отверстия кожуха на

клее с предварительным натягом установлены соответствующего размера бобышки.

Палец 17, помимо передачи крутящего момента от лопасти на поводок рукава втулки 3 и передачи центробежной силы с лопасти на V - образный торсион, также выполняет функцию оси вертикального шарнира, поскольку переходник лопасти 8 имеет с ним шарнирное соединение. Оно обеспечивается подшипниками скольжения с антифрикционной тканью. Внутренние обоймы подшипников установлены на пальце 17, а внешние запрессованы в переходник лопасти.

Колебания лопасти относительно вертикального шарнира ограничиваются жесткостью упругого элемента 5, выполненного из стеклопластика в форме бруса переменного сечения с заданным распределением жесткостей в плоскости вращения винта. Одним концом упругий элемент соединен с переходником лопасти 8, а другой конец свободно входит в паз детали, запрессованной в поводок рукава втулки 3.

С лопасти в плоскости ее взмаха на рукав втулки передается перерезывающая сила. Она воспринимается корпусом втулки через сферический подшипник с антифрикционной тканью. Внутренняя обойма подшипника установлена на пальце кронштейна корпуса втулки, а внешняя на поводке рукава втулки 3.

На кронштейне корпуса установлены центробежные ограничители свеса лопастей в плоскости тяги 7. Для ограничения угловых отклонений рукавов втулки в плоскости вращения при раскрутке несущего винта на выступах корпуса установлены упоры с фиксированным зазором между поверхностью корпуса и торцевой поверхностью поводка рукава втулки 3.

Для обеспечения динамической прочности упругого торсиона устанавливается конструктивное приспособление, называемое «горбушкой». Это специальный профилированный прилив на корпусе втулки НВ, по которому изгибается торсион. Параметры «горбушки» выбираются по условию динамической прочности.

Основной задачей крепежного узла является передача усилия от пальца вертикального шарнира на пластины. В рабочем режиме пакет нагружен растягивающей силой, к тому же он циклически скручивается относительно продольной оси рукава и изгибается в плоскостях взмаха и вращения. Наличие циклических колебательных движений приводит к проскальзыванию пластин друг относительно друга, что влечет за собой быстрый износ втулок и пластин.

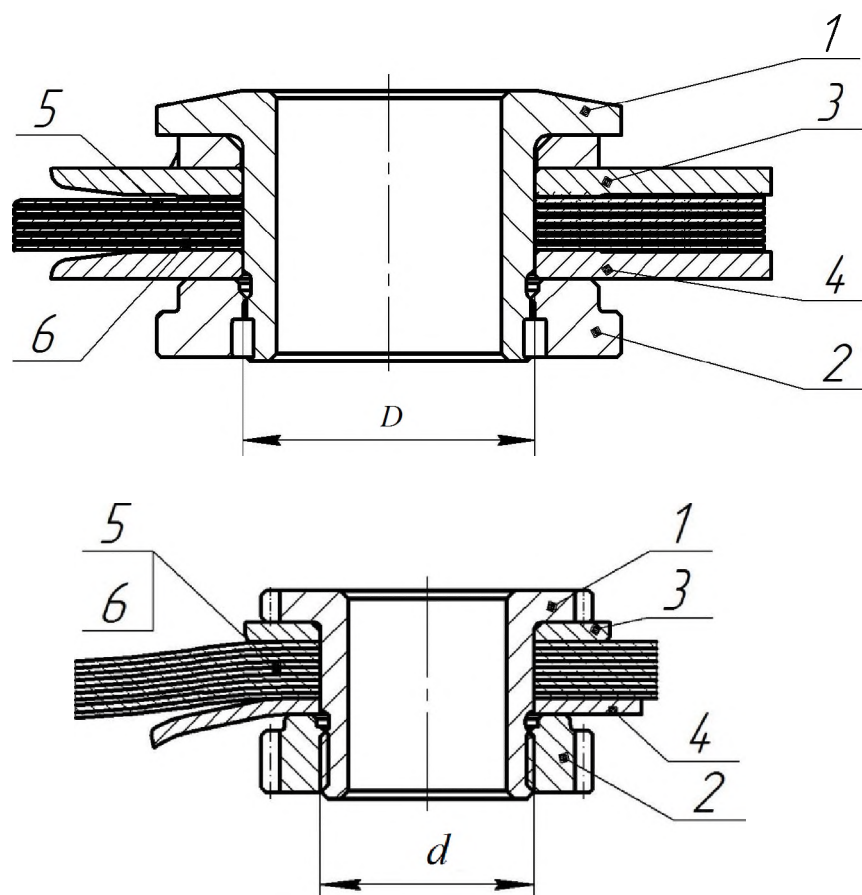


Рис. 3.19 Узлы стяжки пакета:

1 – болт; 2 – гайка; 3 – шайба верхняя; 4 – шайба нижняя; 5 – пластина; 6 – прокладка.

Конструктивное исполнение узла стяжки пластин в пакет показано на рис. 3.19. Пакет пластин 5 стягивается болтом 1 и гайкой 2. Для передачи усилия на пластины, а также исключения возможности их потери устойчивости дополнительно установлены шайбы 3 и 4. Между пластинами для предотвращения возникновения фреттинг-коррозии предусмотрены фторопластовые прокладки 6 толщиной 0,1 мм.

Втулка НВ вертолета Ми-34 (рис. 3.20 - 3.21) имеет замкнутые пластинчатые торсионы из высокопрочной стали, воспринимающие центробежную силу противоположных лопастей и обеспечивающие маховое движение в плоскости тяги. Втулка имеет на 50% меньшее число деталей по сравнению с обычными втулками. Втулка не нуждается в смазке.

Втулка НВ вертолета Ми-34 имеет два пластинчатых торсиона 1 - нижний и верхний, каждый на пару лопастей. Каждый из них работает независимо друг от друга. Крепление их осуществляется четырьмя болтами (для каждого торсиона) к нижнему 3 и верхнему 2 корпусам втулки винта.

Торсионы попарно соединяют противолежащие лопасти несущего винта, воспринимают центробежные силы, позволяют совершать лопасти маховые движения в плоскости тяги и поворачиваться относительно продольной оси. Корпуса втулки крепятся через верхний фланец и нижний фланец при помощи болтов. Фланцы имеют шлицы по которым происходит крепление на шлицах вала главного редуктора, который передает крутящий момент от главного редуктора.

Торсион крепится к верхнему и нижнему корпусу через четыре отверстия при помощи четырех болтов.

К числу наиболее ответственных элементов конструкции рукава относятся упругая балка с переходником 7, палец вертикального шарнира, а также болты крепления малых проушин торсиона.

Введение в конструкцию втулки несущего винта Ми-34 пластинчатых торсионов привело к возникновению явления самопроизвольного колебания (раскачивания) вертолета на земле с нарастающей амплитудой т.н. “земного резонанса”. С целью предотвращения попадания в этот режим в конструкцию втулки ввели гидравлические демпферы 6 колебаний лопасти в плоскости ее вращения с целью ограничения частоты колебаний лопасти (см. рис. 3.21).

В конструкцию втулки был введен еще упругий резинометаллический демпфер 5 для гашения крутильных колебаний лопасти (см. рис. 3.21).

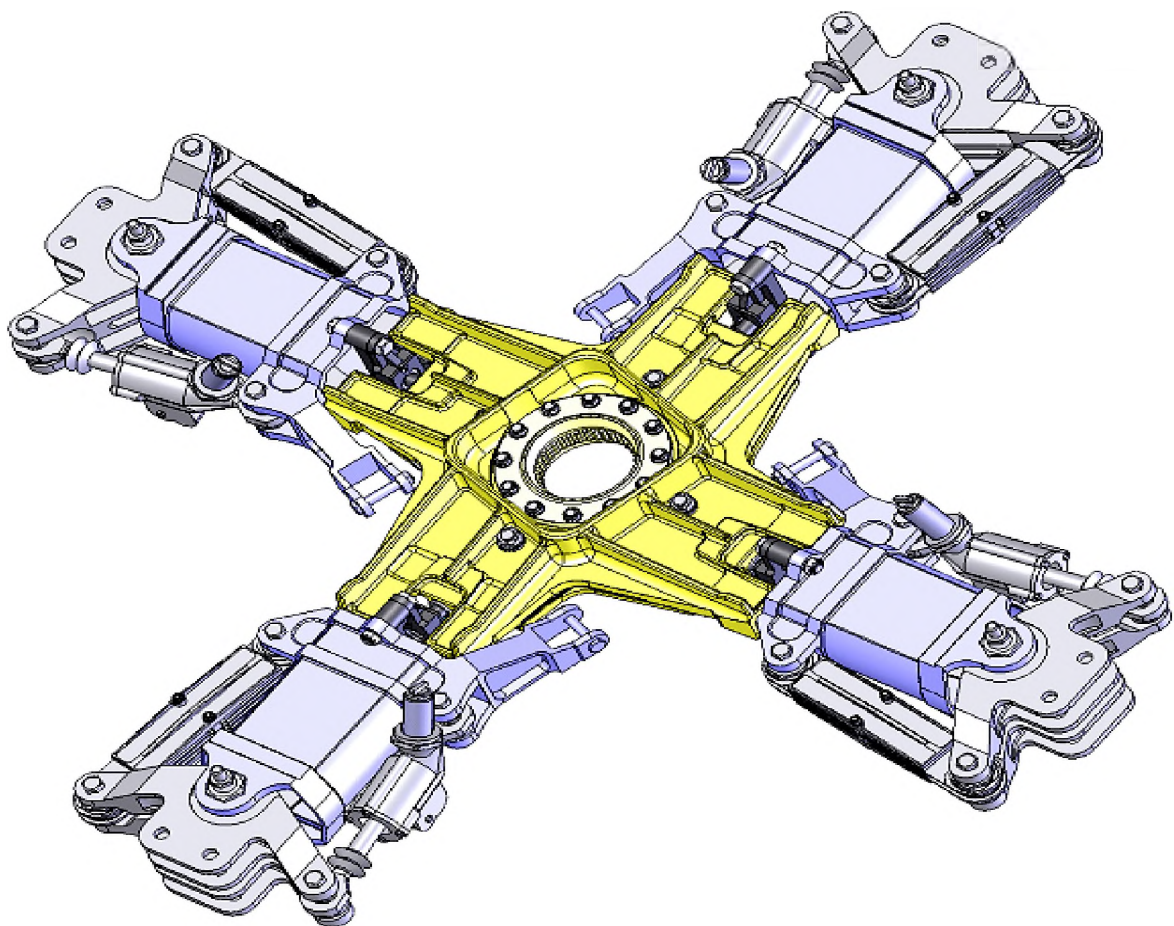


Рис. 3.20 Втулка НВ с пластинчатым торсионом вертолета Ми-34 [18]

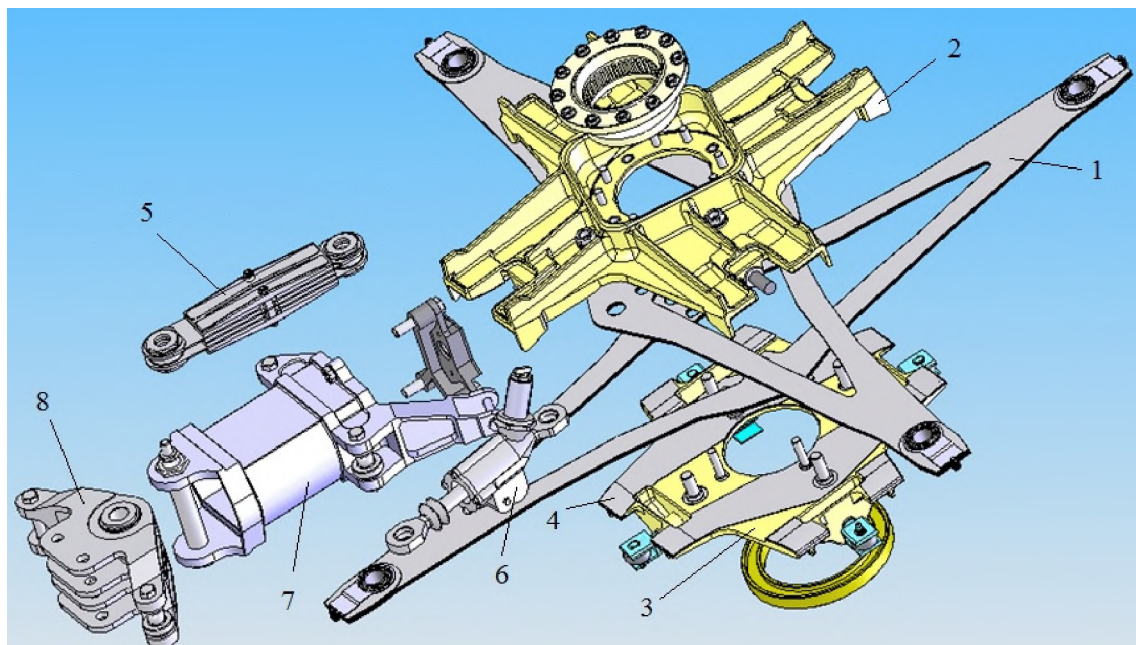


Рис. 3.21 Конструкция втулки НВ с пластинчатым торсионом вертолета Ми-34 [18]:

1 – пластинчатый торсион; 2 – верхний корпус; 3 – нижний корпус; 4 – направляющая корпуса или “горбушка”; 5 – резино-металлический упругий демпфер; 6 – гидродемпфер; 7 – переходник с рычагом поворота лопасти; 8 – узел крепления лопасти.

3.2.2 Втулка несущего винта с эластомерным подшипником

В конструкции этой втулки НВ применен основной силовой элемент - эластомерный подшипник (см. рис. 3.22). Эластомерный подшипник, являясь упругим элементом, воспринимает все нагрузки, приходящие с лопасти, и позволяет лопасти совершать маховое движение и закручиваться от рычага поворота лопасти.

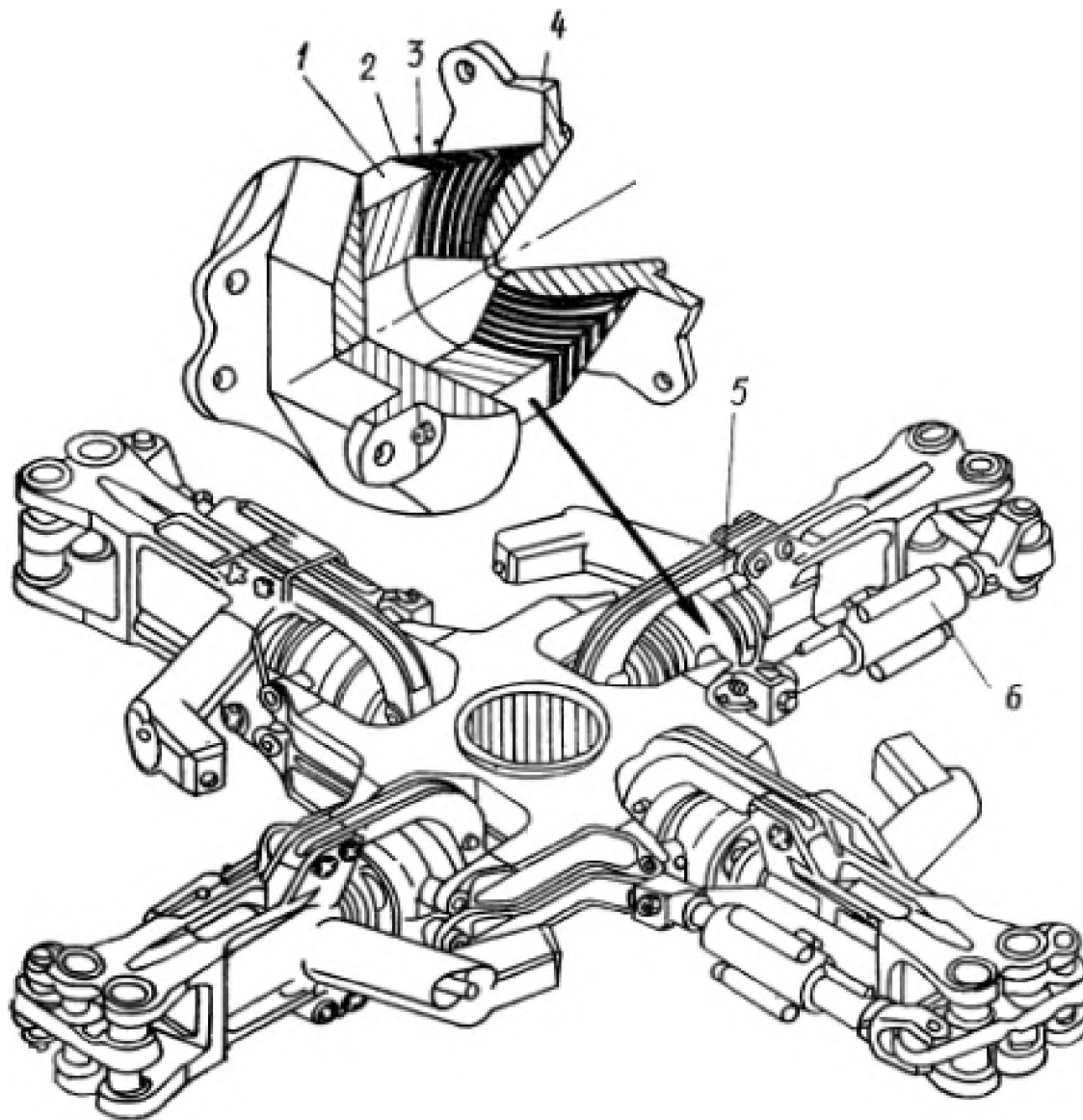


Рис. 3.22 Втулка НВ с эластомерными подшипниками [3]:

1-сферическое кольцо, 2-резиновая прокладка, 3-сферическая металлическая прокладка, 4-опорная сфера, 5-скоба крепления лопасти, 6-демпфер.

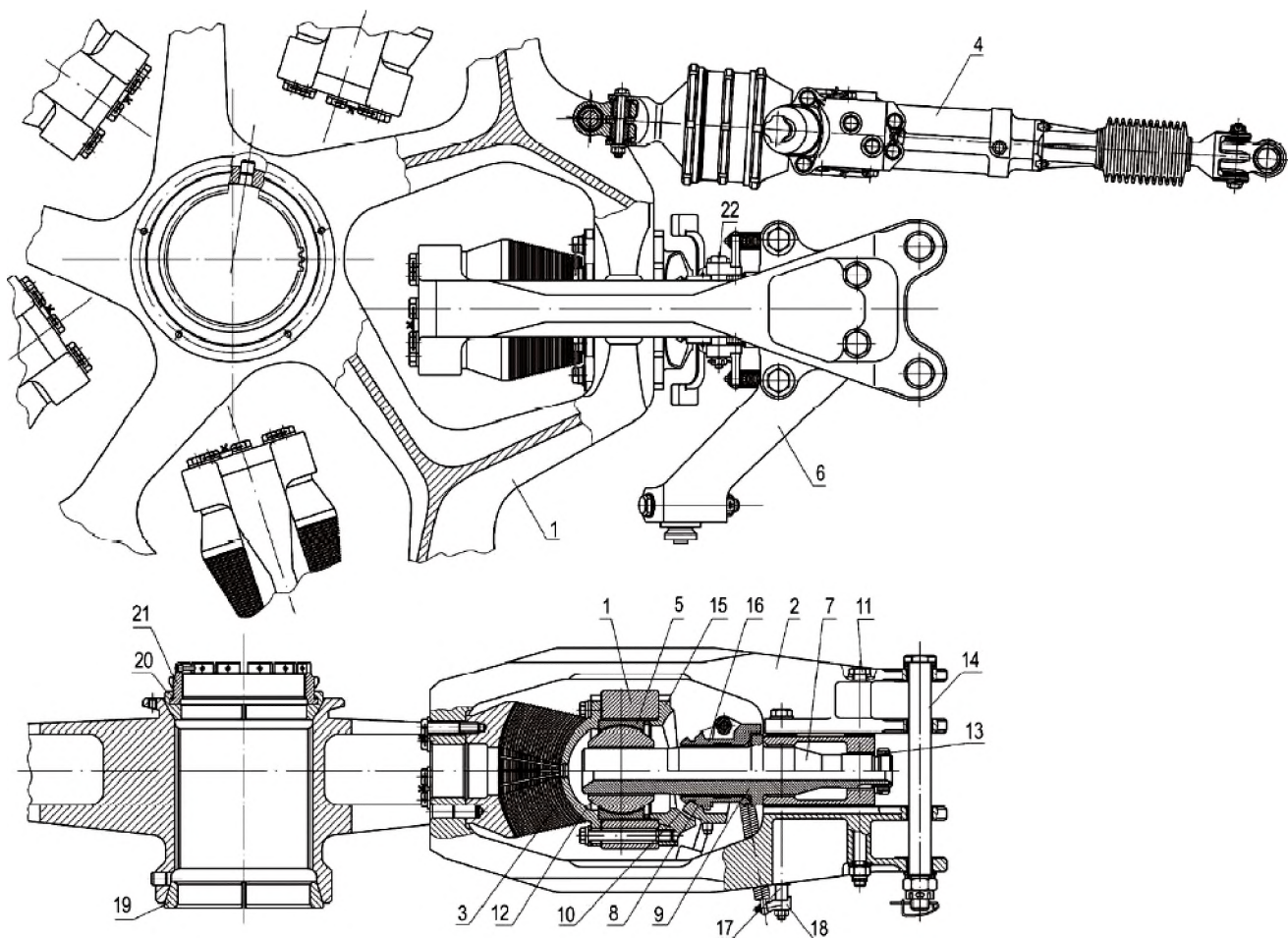


Рис. 3.23 Конструкция втулки НВ с эластомерными подшипниками вертолета Ми-28 [11]:

1 – корпус; 2 – рамка; 3 – эластомерный подшипник; 4 – демпфер; 5 – сферическая опора; 6 – рычаг поворота лопасти; 7 – цапфа; 8 – двуплечный рычаг; 9 – пружина; 10 – груз; 11, 12 – болты; 13 – гайка; 14 – болт крепления лопасти; 15 – неподвижный кольцевой упор; 16 – подвижный упор; 17 – болт; 18 – кронштейн; 19 – нижний центрирующий конус; 20 – верхний центрирующий конус; 21 – гайка вала несущего винта; 22 – болт.

Конструкция втулки НВ вертолета Ми - 28 с использованием сферического эластомерного подшипника для шарнирного крепления лопастей винта к втулке показана на рис. 3.23.

Эластомерный подшипник представляет собой упругий элемент, в котором тонкие слои резины чередуются с тонкими сферическими пластинами, выполненными из металла. За счет деформаций сдвига в слоях резины обеспечиваются угловые перемещения пластин подшипника относительно общего центра. Таким образом лопасть может совершать маховые движения в плоскости тяги и вращения, а так же поворот относительно ее продольной оси. При этом подшипник воспринимает центробежную силу лопасти.

В эластомерном подшипнике отсутствуют качение, скольжение и как следствие этих факторов износы, характерные для подшипников обычного типа. Он не требует смазки и других видов обслуживания. Состояние подшипника в процессе эксплуатации определяется визуально.

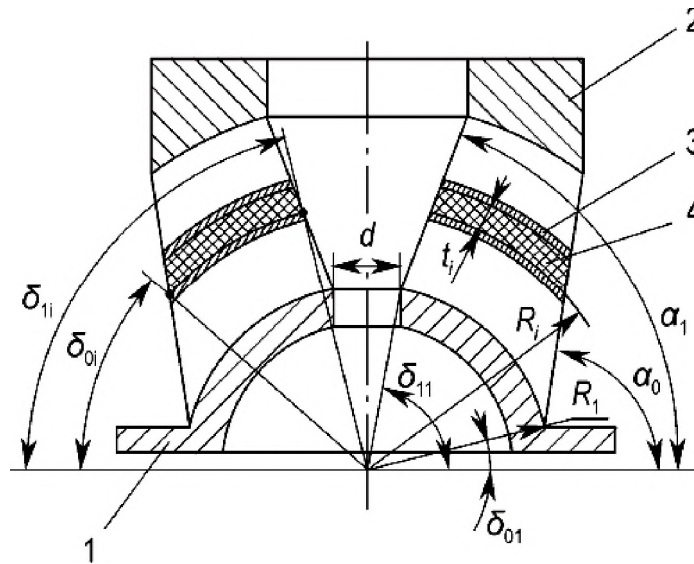


Рис. 3.24 Конструкция и геометрические параметры сферического эластомерного подшипника [27]: 1 – внутренний фланец; 2 – наружный фланец; 3 – металлическая арматура; 4 – резиновые слои.

Сферический эластомерный подшипник (рис. 3.24) состоит из склеенных между собой чередующихся сферических слоев резины 4 и металлических колец 3. При восприятии осевых нагрузок слои резины работают на сжатие, а при восприятии радиальных нагрузок и закручивании подшипника – на сдвиг.

Причем сферический эластомерный подшипник обеспечивает перемещения во всех 3-х плоскостях.

Геометрия подшипника описывается шестью параметрами:

α_0 и α_1 – углы внешнего и внутреннего конусов, образующих наружную боковую поверхность и внутреннюю поверхность центральной полости,

δ_{01} и δ_{11} – углы, определяющие внешнюю и внутреннюю границы первого слоя резины,

R_1 – радиус первого слоя резины,

n – число слоев резины.

Эластомерные подшипники (см. рис. 3.25) по способу восприятия нагрузок делятся на:

- упорные эластомерные подшипники;
- конические эластомерные подшипники;
- радиальные цилиндрические эластомерные подшипники;
- сферические эластомерные подшипники.



Рис. 3.25 Типы эластомерных подшипников: а- радиальный цилиндрический, б- конический, в- упорный, г- сферический.

В конструкции втулки НВ вертолета Ми - 28 также применяются самосмазывающиеся металлофторопластовые и тканевые подшипники, благодаря чему на втулке нет ни одной точки смазки.

Конструкция втулки (см. рис . 3.23) включает в себя основные узлы: корпус 1, рамка 2, эластомерный подшипник 3, демпфер 4, сферическая опора 5, рычаг поворота лопасти 6, цапфа 7, двуплечный рычаг 8, пружина 9, кронштейн 10; детали: грузы 11, 12, регулировочное кольцо 13, втулка 14, болты 15, 16, гайка 17, контрольная шайба 18, шайбы 19, 20, болт крепления лопасти 21, шайба 22, неподвижный кольцевой упор 23, подвижный упор 24,

вилка 25, болт 26, кронштейн 27, втулка 28, палец 29, шайба 30, пробки 31, 32, втулка 33, нижний центрирующий конус 34, верхний центрирующий конус 35, пластина 36, гайка вала ротора 37, болт 38.

Корпус втулки 1 выполнен по форме колеса с ободом и спицами. Для крепления втулки к валу главного редуктора (валу несущего винта) в корпусе имеются шлицы. Шлицевое соединение обеспечивает передачу крутящего момента на несущий винт. После установки на шлицы вала главного редуктора корпус вдоль оси вала фиксируется гайкой вала ротора 37. Вместе с корпусом она стягивает нижний 34 и верхний 35 центрирующие конусы. Последние обеспечивают отсутствие люфтов в соединении втулки с валом главного редуктора и их точное центрирование относительно друг друга.

Сферический эластомерный подшипник 3 крепится одним фланцем к корпусу втулки 1, а другим к рамке 2. Рамка охватывает элементы корпуса снаружи и имеет гребенки для присоединения лопастей. В отверстия гребенок вставляются болты крепления лопасти 21.

Для восприятия перерезывающих сил, приходящих с лопасти в центре эластомерного подшипника (в точке, относительно которой поворачиваются пластины эластомерного подшипника) установлена сферическая опора 5, представляющая собой самосмазывающийся сферический подшипник.

Поворот рукава втулки относительно продольной оси лопасти осуществляется с помощью рычага поворота лопасти 6. Он крепится к рамке 2 четырьмя болтами 15 и 26. В рычаге поворота лопасти установлена цапфа 7. Одним концом она входит во внутреннее отверстие сферической опоры 5.

Для ограничения махового движения лопасти в процессе работы несущего винта на корпусе 1 установлен кольцевой неподвижный упор 23. С помощью регулировочного кольца 13 он также обеспечивает фиксацию в корпусе 1 внешней обоймы сферической опоры 5.

Для ограничения угла свеса лопасти на стоянке вертолета и при работе винта на малых оборотах на втулке НВ имеется центробежный механизм ограничения свеса лопасти. Он устроен следующими образом.

На цапфе 7 туго насажан подвижный упор 24. На подвижном упоре шарнирно с помощью пробок 31, 32 установлен двуплечный рычаг 8. На одном конце рычага установлены грузы 11, а на другом закреплены возвратные пружины 9. Рабочие поверхности упоров 23 и 24, а также рычага 8 выполнены в виде профилированных сферических поверхностей.

При раскрутке несущего винта рычаг 8 под действием центробежных сил от грузов 11 преодолевает момент от пружин 9 и перемещается в положение, при котором обеспечиваются требуемые в полете вертолета углы отклонения лопастей.

Помимо эластомерного подшипника нагрузку воспринимает рамка 2, которая воспринимает центробежную силу и изгибающие и крутящие моменты, передающиеся с подшипника, рычаг поворота лопасти 6 – элемент связывающий лопасть несущего винта и втулку, работает на срез и на смятие так как способ фиксации – болтовое соединение. Так же силовым элементом, воспринимающим нагрузки, переходящие от лопасти и вала является корпус 1.

Эластомерные подшипники лучше реализуют свой потенциал в условиях колебательных нагрузок и движений. Движения возникают за счет упругой деформации сдвига, в то время как нагрузки взаимодействуют при помощи (обычно перпендикулярно направлению движения) действующих на резину сжимающих нагрузок. В связи с тем, что нагрузки и движения возникают из-за деформации резины, отпадает потребность в скользящих и вращающихся поверхностях.

Отметим следующие преимущества эластомерных подшипников втулок несущих винтов:

- увеличение срока службы в 3...5 раз по сравнению с обычными подшипниками качения;
- устранение необходимости смазки;
- упрощение осмотра, который производится без разборки узла подшипника;

- уменьшение трудоемкости техобслуживания;
- уменьшение числа деталей, вследствие чего отпадает необходимость в применении уплотнений и защитных чехлов;
- уменьшение числа деталей, обрабатываемых с высокой точностью, которая неизбежна при использовании обычных подшипников;
- обеспечение возможности обслуживания втулки НВ по состоянию;
- уменьшение вероятности отказов, так как исключается схватывание деталей, которое могло произойти при применении обычных подшипников в случае их повреждения;
- обеспечение возможности регулирования жесткости узла подшипника при проектировании, т.е. возможности подбора собственной частоты системы.

К числу недостатков эластомерных подшипников относятся их высокая стоимость, старение резины особенно при переменных нагрузках является основной причиной ограничения срока годности эластомерных подшипников, изменение характеристик эластомера с изменением окружающей среды, повышенные нагрузки в системе управления при отрицательных температурах, сложная технология изготовления подшипника.

Однако благодаря большому сроку службы и упрощению обслуживания эластомерных подшипников, по сравнению с шарнирами, экономическая эффективность их применения на вертолетах несомненна. В настоящее время применение втулок с эластомерными подшипниками на легких и средних вертолетах получило большое распространение.

В конструкции полужесткой втулки НВ новейшего вертолета Ка-62 применили эластомерные подшипники вместо стальных торсионов и отказались от привычных гидравлических демпферов, заменив их упругими демпферами в виде упругой композитной балки из углепластика, которая гасит энергию колебаний за счет собственной податливости (рис. 3.26).

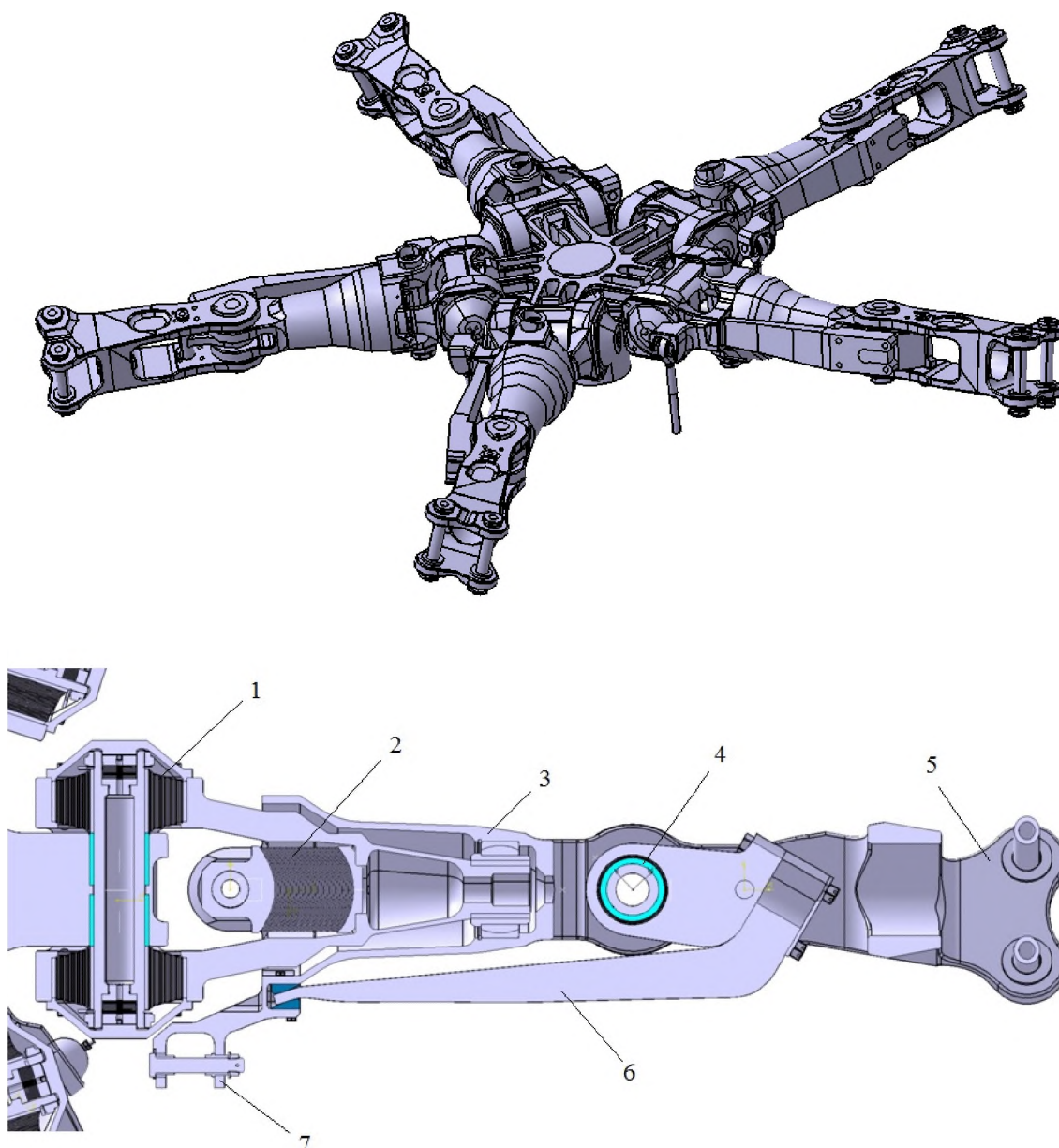


Рис. 3.26. Общий вид и конструкция втулки НВ с эластомерными подшипниками вертолета Ка-62 [24]:

1 – радиальные эластомерные подшипники; 2 – конический эластомерный подшипник; 3 – корпус осевого шарнира; 4 – узел вертикального шарнира; 5 – узел крепления лопасти; 6 – упругая балка-демпфер; 7 – рычаг поворота лопасти.

3.2.3 Втулка несущего винта с упругим элементом типа Starflax

Втулка с упругим стеклопластиковым элементом типа Starflax (см. рис. 3.27) выполнена почти полностью из стеклопластика в форме трехлучевой звезды с центральным корпусом 1 большой толщины и с треугольными в плане лучами-кронштейнами 7, имеющими сравнительно тонкое поперечное сечение.

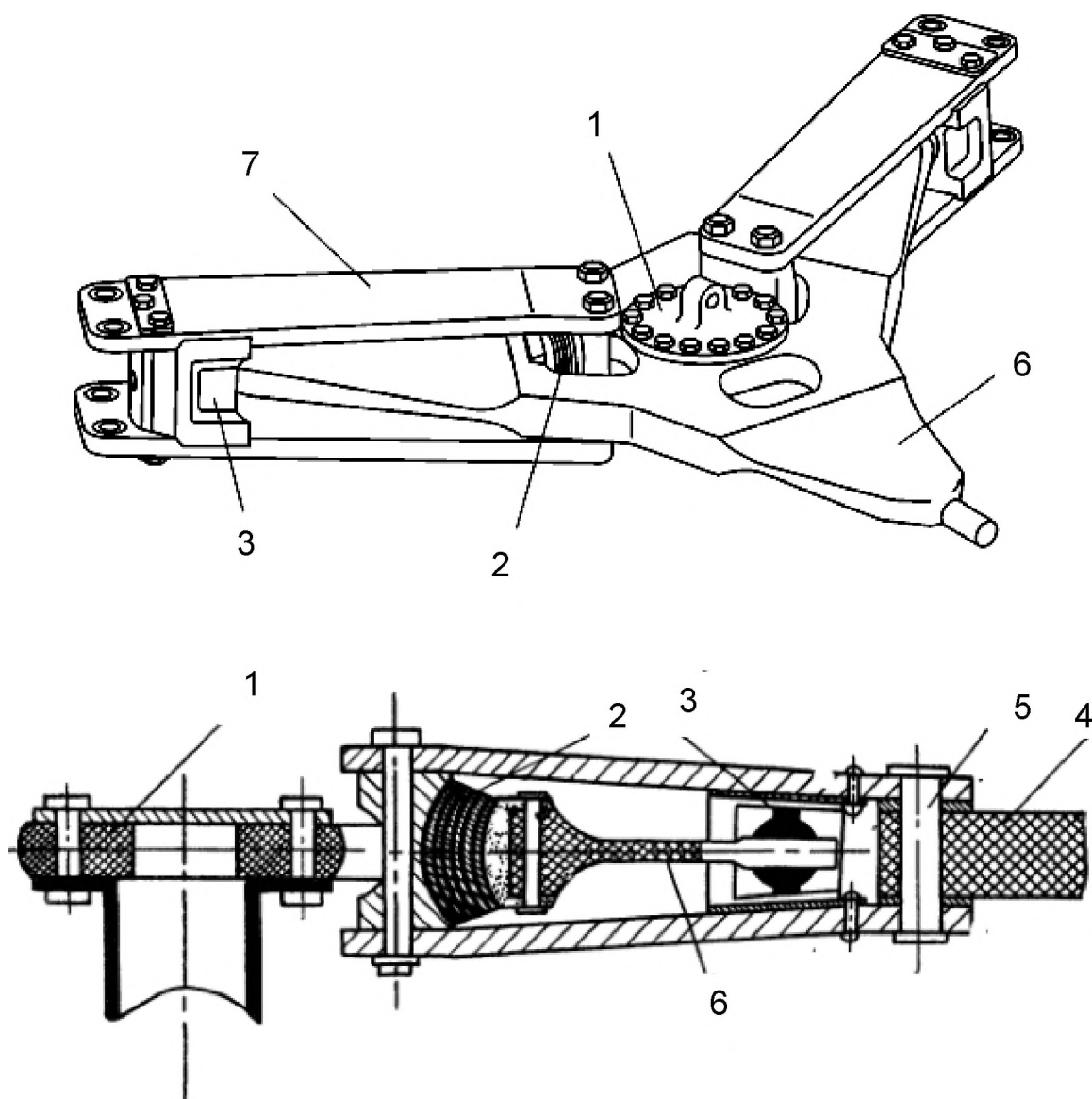


Рис. 3.27 Схема втулки с упругим стеклопластиковым элементом (Starflex):

1 – корпус втулки; 2– сферический эластомерный подшипник; 3– шаровая опора; 4-болт крепления лопасти; 5 – лопасть; 6-упругий элемент; 7-кронштейны.

Форма кронштейнов 7 обуславливает их большую жесткость в плоскости вращения и достаточную упругость в плоскости взмаха. В конструкции втулки используются находящиеся в центральной части корпуса сферические упорные подшипники 2 из слоистого эластомера, передающие на корпус 1 центробежные силы лопастей 4 и образующие осевые шарниры совместно с самосмазывающимися универсальными шарнирами, расположенными на концах кронштейнов корпусов втулки.

Кронштейны 7 не воспринимают центробежных сил, их роль заключается в передаче на лопасти крутящего момента и в удержании лопастей во время стоянки вертолета. Размеры и сечение кронштейнов определяются главным образом требованиями к статическому свесу лопастей.

Между кронштейнами располагается упругий стеклопластиковый торсион 6 с профилированными утолщениями, обеспечивающий передачу центробежных сил от лопастей на сферические упорные подшипники 2. Конструкция упругих кронштейнов и крепление поводка поворота лопасти относительно осевого шарнира к упорному подшипнику позволяет полностью избавиться за счет увеличения жесткости кронштейнов в плоскости вращения от нежелательной геометрической нелинейной взаимосвязи между маховыми и крутильными колебаниями кронштейна.

Для восприятия перерезывающих сил втулка имеет шаровую опору 3, относительно которой происходит закручивание лопасти.

Втулка Starflax имеет простую конструкцию и небольшую стоимость и почти не требует предполетного обслуживания по сравнению с шарнирной втулкой. Такой втулке не требуется демпфер колебаний в плоскости вращения лопасти и ограничитель свеса, что снижает вес конструкции самой втулки НВ.

Недостатками втулки Starflax является повышенный уровень колебаний, передаваемый на вертолет, по сравнению с шарнирными втулками НВ и втулками НВ с эластомерными подшипниками.

3.2.4 Втулка несущего винта с упругими торсионами балочного типа

Втулка НВ в своей конструкции имеет упругий торсион балочного типа из ПКМ, который воспринимает центробежную силу и заменяет шарниры, тем самым обеспечивая необходимые перемещения лопастей за счет собственной податливости и выполняет функции ОШ, ВШ и ГШ (рис. 3.28). Ступица втулки, выполненная в виде фланца, соединяется с валом НВ. К сту-

пице присоединены крестообразно два упругих торсиона из ПКМ, к каждому из которых на его концах прикрепляются лопасти. Сверху торсионы закрыты обтекаемыми кожухами с присоединенными к ним рычагами управления шагом лопастей. Важнейшее преимущество ПКМ - возможность создания из них элементов конструкции с заранее заданными свойствами, наиболее полно соответствующими характеру и условиям работы торсиона в составе втулки НВ.

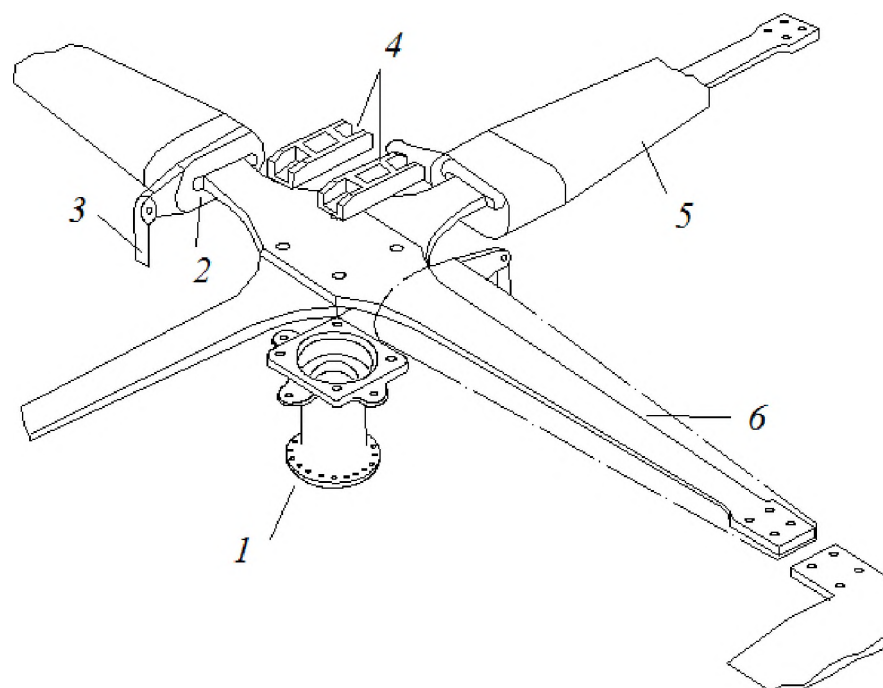


Рис. 3.28 Схема втулки НВ с упругими торсионами балочного типа:
1-втулка; 2- центрирующая сферическая опора; 3- поводок управления шагом лопасти; 4- кронштейны крепления; 5- кожух; 6 - упругий торсион.

Торсион должен обеспечивать мах лопасти в плоскости тяги, некоторое маховое движение лопасти в плоскости вращения, уменьшая изгибающие моменты в комле лопасти от действия кориолисовых сил и поворот лопасти относительно ее продольной оси, нагружаясь в основном центробежной растягивающей силой, приходящей с лопасти (рис. 3.29). Летные характеристики и характеристики управляемости вертолета в значительной мере определяются конструкцией его НВ, в частности, расстоянием L_1 между осью втулки НВ и осью горизонтального шарнира (ГШ) или разнесом эквивалентного горизонтального шарнира (ЭГШ).

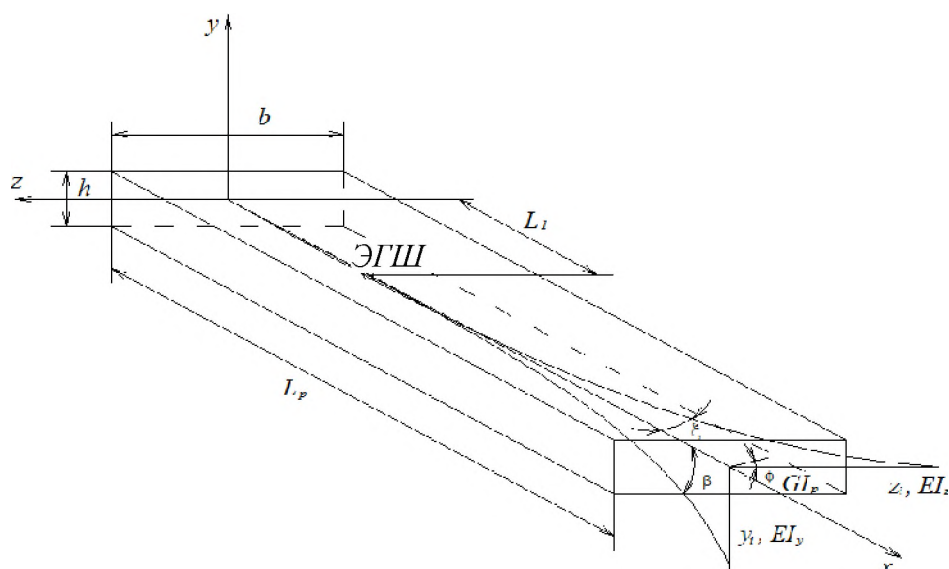


Рис. 3.29 Геометрические и кинематические параметры торсиона из ПКМ: L_p - длина торсиона; L_I - расстояние до ЭГШ; h -высота; b -ширина; β , ξ , φ -кинематические углы взмаха и закручивания, y_i , z_i - прогибы торсиона в разных плоскостях.

Втулка НВ вертолета "АНСАТ-У" с упругими торсионами балочного типа показана на рис.3.30. Основными деталями втулки несущего винта являются:

- упругий торсион 6;
- кожух торсиона 7;
- корпус втулки 2;
- переходник 8;
- сферическая опора.

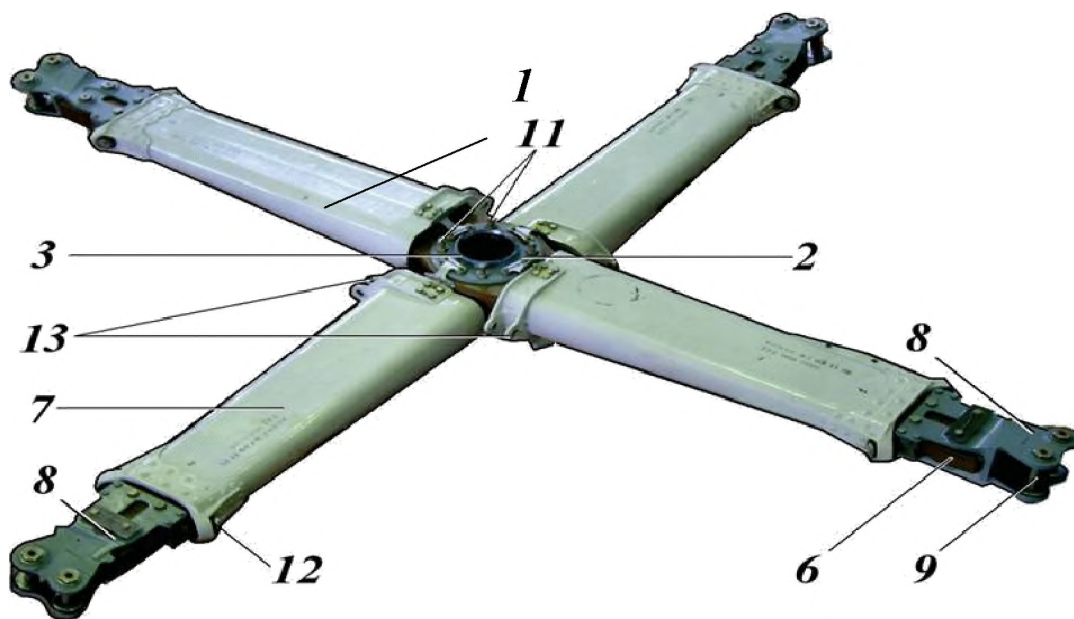


Рис. 3.30 Компоновка торсионной втулки НВ вертолѐта "АНСАТ-У" [16]:
1 –торсион; 2 –упор; 3 – корпус втулки НВ; 4 – переходник; 6-переходник; 7-кожух; 8-узел крепления лопасти; 9-болты крепления; 10 – верхний конус; 11-болты крепления корпуса втулки; 12 – упор; 13 – рычаг поворота лопасти.

Торсион (упругая балка) изготовлен из композитного материала, который спрессован из стеклоткани Т-25(ВМ)-78 на связующем 5-211Б со слоями резины 181. Торсион конструктивно состоит из 3 частей: концевой, корневой и рабочей. Концевая и корневая части имеют монолитную структуру из слоев ПКМ. Рабочая часть в виде консольной балки состоит из набора пластин из ПКМ, состоящих из слоев стеклоткани, между которыми проложены слои резины, с целью уменьшения крутильной жесткости торсиона. Рабочий участок имеет также три продольных паза для снижения крутильной жесткости балки. Комлевой участок имеет (рис. 65) центральное отверстие 11 для крепления к корпусу втулки и отверстие для крепления сферической опоры кожуха 1. Концевой участок имеет четыре отверстия для крепления переходника лопасти.

Торсион (см. рис. 3.31) загружается скручивающим моментом от системы управления с помощью кожуха 7 рукава втулки. Колебания лопасти относительно вертикального шарнира ограничиваются жесткостью упругого торсиона. Демпфирование обеспечивается подбором рационального поперечного сечения, соответствующим подбором материалов в композитных пластинах торсиона и их укладкой. Кожух 7 обеспечивает изменение угла установки лопасти при помощи поводка 13 и пальцев 12. Кожух изготовлен из стеклоткани Т-25(ВМ)-78 на связующем 5-211Б. Поводок 13 шарнирно соединен с тягой автомата перекоса. Корпус втулки 2 изготовлен из стали 40ХН2МА, состоит из двух частей, имеет центральное отверстие с эвольвентными шлицами, которыми он устанавливается на вал главного редуктора и центрируется на нем двумя конусными кольцами. На фланцах корпуса выполнены отверстия для крепления с упругими балками торсиона. Лопать присоединяется к торсиону 6 НВ с использованием переходника 8, закрепленного в концевой части торсиона. Переходник служит также для обеспечения на лопасти предварительного угла установки 11^0 при положении автомата перекоса соответствующему 50% общего шага. Переходник 8 и пальцы 12 изготовлены из стали 40ХН2МА.

С лопасти в плоскости ее взмаха на рукав втулки передается перерезывающая сила. Она воспринимается корпусом втулки через шаровой шарнир с упорами для ограничения угловых отклонений рукавов втулки в плоскости вращения при раскрутке несущего винта. Сферическая опора 1 представляет собой подвижную точку крепления кожуха 7 на торсионе 6. Кронштейн предназначен для крепления шлиц-шарнира автомата перекоса. Крепление к валу главного редуктора осуществляется при помощи верхнего конуса 5 и нижнего конуса 10, которые расклинивают корпус втулки 2 при затяжке гайки 3. Установка торсиона значительно упрощает конструкцию втулки НВ вертолета и практически не требует ее обслуживания. Недостатками балочных торсионов из ПКМ является излишняя жесткость на кручение. Все шарнирные подшипники, применяемые на втулке НВ типа ШЛТ, имеющие покрытие из органоволокнуита, не требуют периодической смазки. На втулке НВ отсутствуют элементы, требующие обслуживания в эксплуатации.

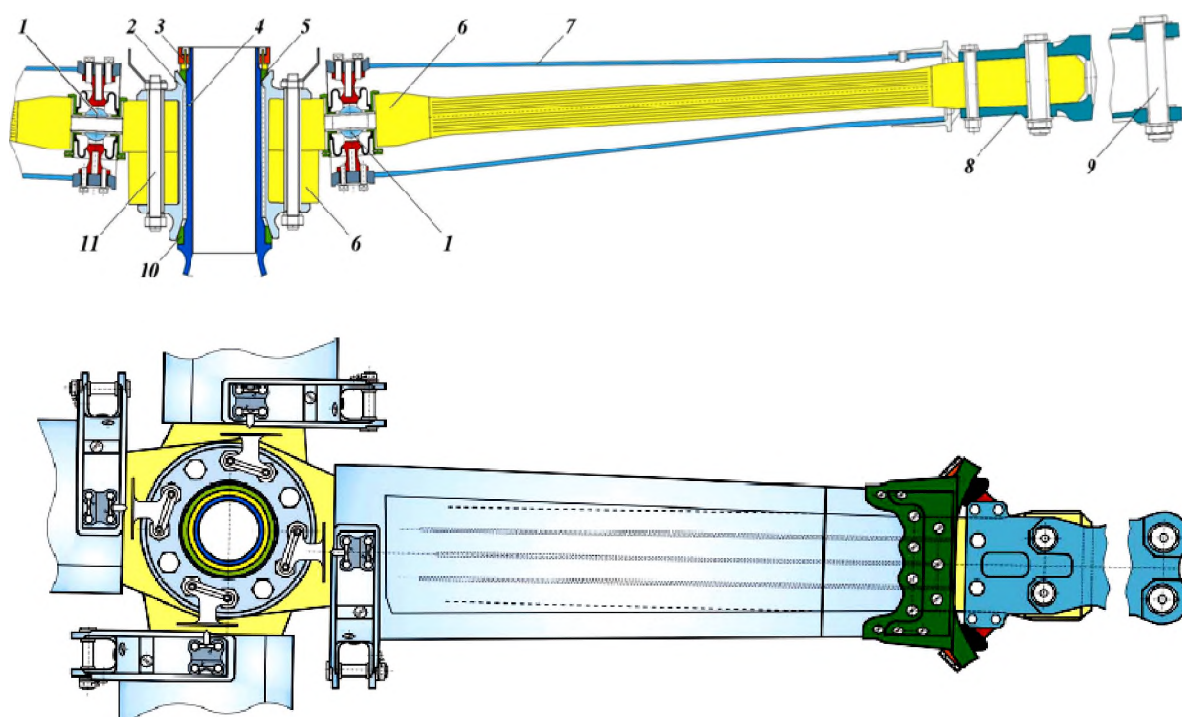


Рис. 3.31 Конструкция втулки несущего винта вертолѐта “АНСАТ-У” с балочными торсионами из стеклопластика [16]:

1-сферическая опора, 2- корпус втулки, 3,10- гайки, 4-вал ротора, 5-упор, 6-упругий слоистый торсион из ПКМ, 7- кожух, 8- переходник, 9,11-болты.

3.3 Жесткие втулки несущего винта вертолета

В конструкции втулки НВ с жестким креплением лопастей не предусматривается введение шарниров (рис. 3.32), кроме осевого шарнира. При заданных управляющих моментах перемещения концов жестко закрепленной лопасти НВ существенно меньше, чем у лопастей шарнирного винта и во столько раз, во сколько параметр $l_{г.ш.}^{экв}$ больше разности ГШ обычного шарнирного винта $l_{г.ш.}$. Таким образом, управляемость вертолета с жесткой втулкой намного выше, в т.ч. при отрицательных перегрузках.

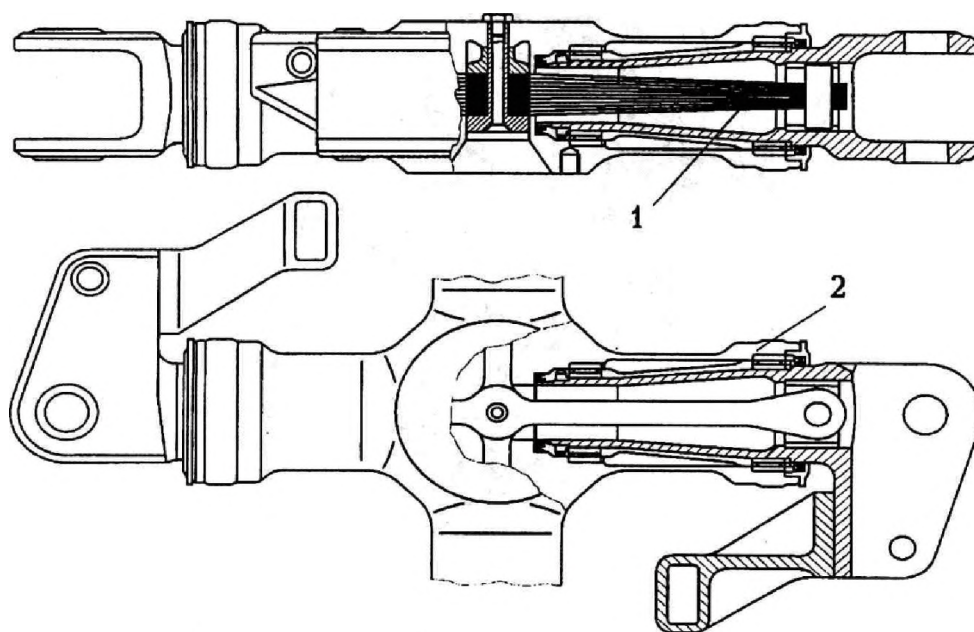


Рис. 3.32 Жесткая втулка НВ вертолета Во105 с торсионом ОШ [7]: 1- пластинчатый торсион, 2- корпус осевого шарнира. 3 – корпус втулки; 4 – рычаг поворота лопасти.

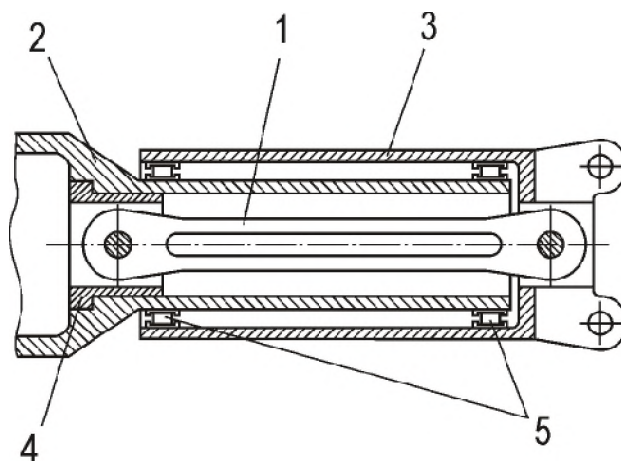


Рис. 3.33 Схема осевого шарнира с торсионом: 1 – торсион; 2 – цапфа осевого шарнира; 3 – корпус осевого шарнира; 4 – вкладыш; 5 – радиальные подшипники.

На рис. 3.33 показана конструкция жесткой втулки НВ вертолета Во105. Конструктивно втулка состоит из следующих основных узлов: корпуса втулки 3, корпуса ОШ 2 с пластинчатым торсионом 1 и рычага поворота лопасти 4. Управление шагом лопасти осуществляется за счет закручивания торсиона 1 (рис. 42) в цапфе 2 ОШ. За счет собственной податливости в комплекте, лопасти совершают малые упругие маховые колебания. Весь изгибающий момент воспринимается корпусом втулки 3. Кроме того, жесткое крепление лопастей НВ позволяет перераспределять аэродинамическую нагрузку на ометаемую площадь НВ таким образом, что это может быть использовано для отдаления срывного режима на отступающей лопасти, уменьшения вибраций и увеличения максимальной скорости полета вертолета.

3.3.1 Жесткие втулки с пластинчатым торсионом осевого шарнира

Пластинчатый торсион ОШ (рис. 3.34 - 3.35) представляет собой силовой стержень из стальных пластин, воспринимающий растягивающую нагрузку от центробежной силы и обладающий малой крутильной жесткостью. При выборе параметров торсиона определяется сечение по допускаемому напряжению на разрыв $[\sigma_{yc}]$ от действия центробежной силы. Варьируя рабочей длиной торсиона l , его высотой h и шириной b , шириной прорези в пластине a для заданного диапазона углов поворота лопасти φ определяют крутильную жесткость, удовлетворяющую ограничению на максимальный крутящий момент (M_{KP}) $\max = F(M_{KP})$ в системе управления НВ.

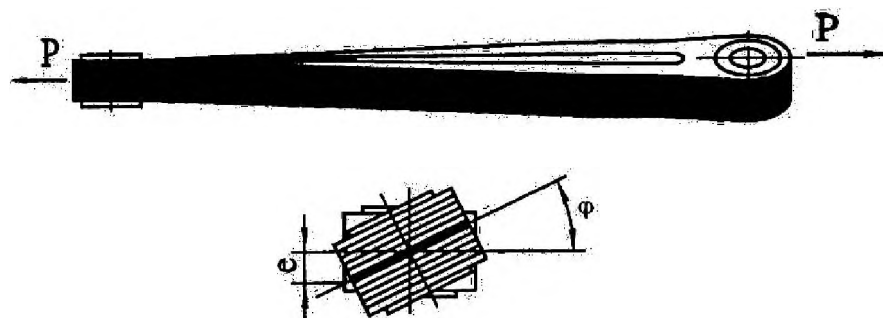


Рис. 3.34 Схема нагружения пластинчатого торсиона ОШ:

P- растягивающая центробежная сила; e- полуширина; φ-угол закрутки торсиона.

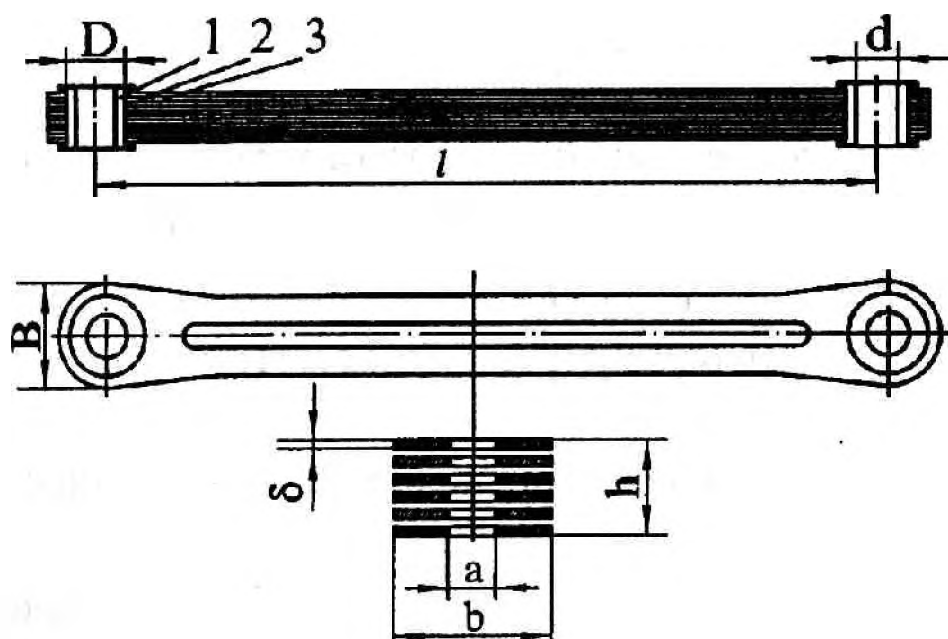


Рис. 3.35 Конструкция и геометрические параметры пластинчатого торсиона ОШ [2]:

1-втулка крепления, 2- корпус втулки крепления, 3-пластины.

3.3.2 Жесткие втулки с проволоочным торсионом осевого шарнира

В проволоочном торсионе всю центробежную нагрузку воспринимает пакет из стальной проволоки (рис. 3.36). Проволоочные торсионы более просты в производстве и превосходят пластинчатые по несущей способности, т.к. усталостная прочность тонкой стальной проволоки выше. Срок службы проволоочного торсиона определяется переменными напряжениями изгиба, которые возникают при его закручивании.

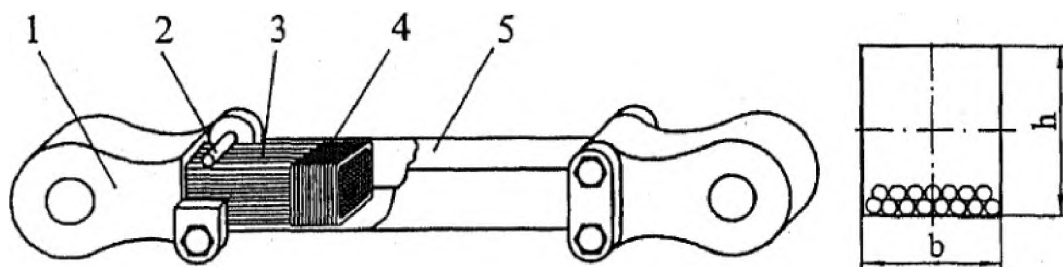


Рис. 3.36 Конструктивные параметры проволоочного торсиона ОШ [7]:

1- коуш, 2- фиксирующие болты, 3- проволоочные ветви торсиона, 4- оболочка из ткани,

5- резиновая оболочка, b,h – ширина и высота торсиона

3.4 Основные типы втулок рулевых винтов вертолетов

Втулка РВ предназначена для передачи крутящего момента на лопасти, а также для восприятия усилий от аэродинамических сил и передачи их на хвостовую балку. По аналогии со втулками НВ, применяются втулки РВ с ОШ, с совмещёнными и разнесёнными ГШ, ВШ отсутствует, трехшарнирная втулка РВ (рис. 3.37).

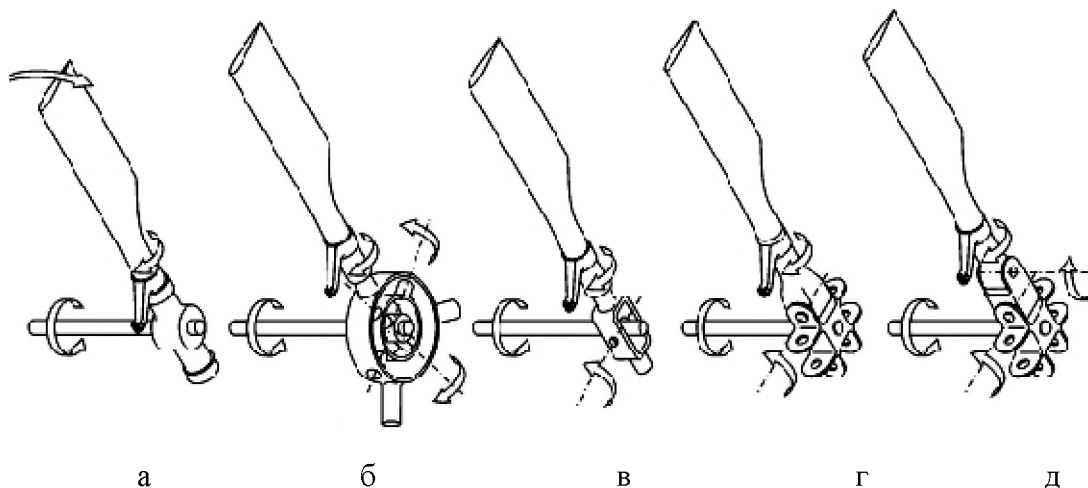


Рис. 3.37 Кинематические схемы втулок рулевых винтов:

а- втулка РВ с ОШ, б- втулка РВ на кардане, в- втулка РВ с общим ГШ, г- втулка РВ с отдельными ГШ, д- трехшарнирная втулка РВ.

Втулка РВ с ОШ применяется на легких вертолетах, где значения изгибающих моментов в комле незначительны. С целью уменьшения пиковых значений изгибающих моментов в конструкцию вводят сферические подшипники в ОШ (рис. 3.38 - 3.39).

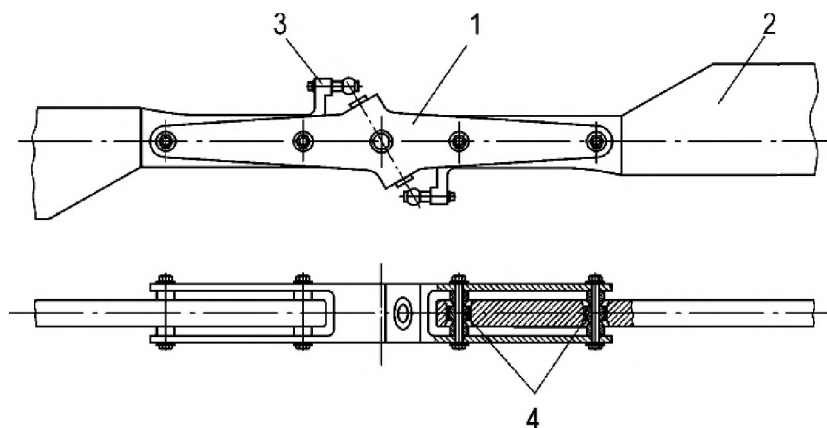


Рис. 3.38 Схема конструкции втулки РВ со сферическими подшипниками в ОШ:

1 – коромысло; 2 – лопасть; 3 – рычаг поворота лопасти; 4 – сферические подшипники скольжения.

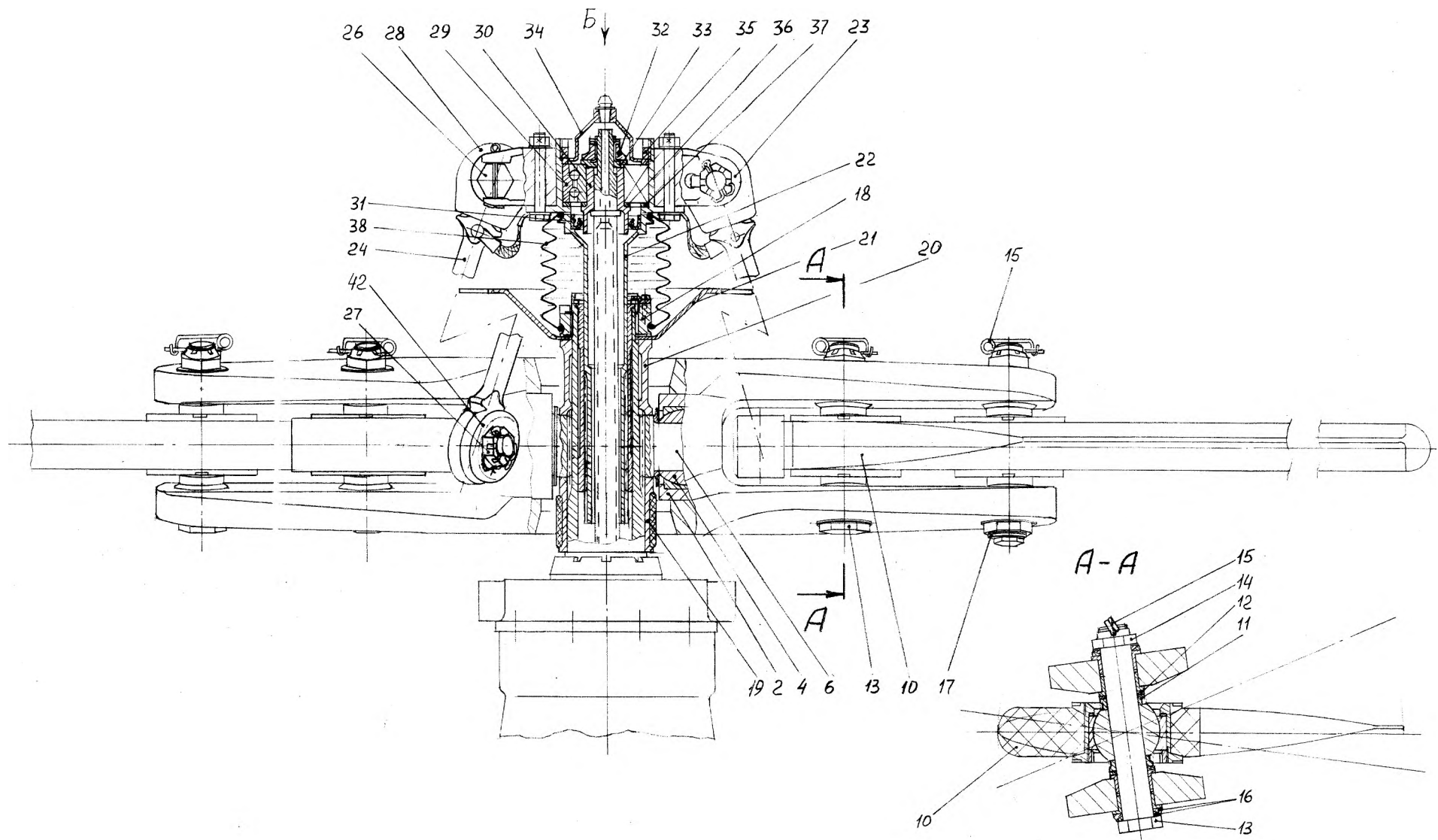


Рис. 3.39 Конструкция втулки рулевого винта со сферическими подшипниками вертолета АНСАТ-У [16]:

1 - корпус втулки; 2 - корпус подшипника горизонтального шарнира; 3 - прокладка регулировочная; 4 - подшипник горизонтального шарнира; 5, 18, 27, 32, 35 - гайка; 6 - цапфа; 7, 33 - шайба стопорная; 8 - шайба упорная; 9 - винт; 10 - лопасть рулевого винта; 11, 19, 20 - втулка распорная; 12, 36, 37 - шайба регулировочная; 13 - болт стыковочный; 14 - гайка; 15 - булавка; 16 - шайбы сферические; 17 - шайба балансировочная; 21 - диск балансировочный; 22 - ползун; 23 - коромысло; 24 - тяга управления лопастью; 25 - подшипник шарнирный; 26 - болт; 28, 38 - чехол; 29 - подшипник шариковый радиально-упорный; 30 - гильза; 31 - манжета; 34 - крышка; 39 - грузик динамический балансировки; 40, 41 - втулка распорная; 42 - шайба пылеотражающая.

Втулка РВ с общим ГШ для легкого вертолета (рис. 3.40) имеет один совмещённый ГШ. Он обеспечивает совместное маховое движение относительно плоскости вращения. Втулка состоит из ступицы, которая крепится болтами к фланцу выходного вала хвостового редуктора, траверсов *1*, установленных на ступице, коромысла *2*, конических подшипников *3*; корпуса ГШ *4*, игольчатых или конических подшипников *5* и торсиона *6*, закручивающегося при изменении шага. Поводок закрепляется на ползунке, который поступательно перемещается по шлицам ступицы. Коромысло имеет конструктивный угол конусности, что уменьшает статическое напряжение изгиба в лопастях. Ось ГШ повернута относительно продольной оси лопасти на угол 60^0 , что соответствует компенсатору взмаха 0,58 – это позволяет уменьшить маховое напряжение в полёте.

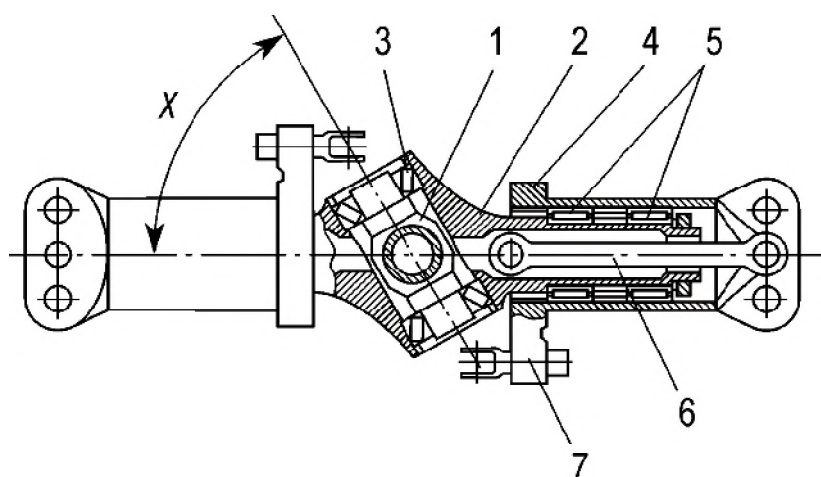


Рис. 3.40 Схема конструкции втулки рулевого винта с общим ГШ:

1 – траверса; 2 – коромысло; 3 – конический роликовый подшипник; 4 – корпус осевого шарнира; 5 – радиальные игольчатые подшипники; 6 – торсион; 7 – рычаг поворота лопасти.

На рис. 3.41 показана конструкция втулки РВ с общим ГШ легкого вертолета Ми-2, которая состоит из следующих основных частей: ступицы *17*, траверсы *15*, коромысла *13*, стаканов *5*, поводка *7*, тяг *11*, торсионов *37* и рычагов *32* поворота лопастей. Ступица *17* из высоколегированной стали имеет фланец, который служит для крепления ступицы на фланце ведомого вала хвостового редуктора при помощи болтового соединения. На другом конце ступицы устанавливается фторопластовое кольцо (ограничитель взмаха) *16* и траверса *15*. Траверса из высоколегированной стали имеет две цапфы, на ко-

торые устанавливаются роликовые конические подшипники 23. Наружные кольца роликовых конических подшипников установлены в коромысле 13, которые вместе с траверсой образуют совмещенный ГШ втулки РВ. ГШ позволяет лопасти отклоняться от плоскости, перпендикулярной оси винта. Угол отклонения ограничивается упорами ограничителя взмаха, установленного на ступице втулки. Коромысло 13 имеет две удлиненные цапфы ОШ, наклоненные к плоскости вращения винта под углом 1^0 , т.е. так, что концы лопастей приближены к фланцу хвостового редуктора. Такое расположение лопастей позволяет уменьшить напряжения изгиба, возникающие от действия аэродинамических сил. Цапфы коромысла 13, сочленяясь через игольчатые подшипники со стаканами 5, образуют ОШ втулки РВ. Каждый ОШ имеет два игольчатых подшипника 28, между которыми устанавливается дистанционная втулка 26. На цапфах коромысла, кроме того, устанавливаются втулки сальников 35 и бортовые кольца 27. Стаканы 5 являются наружными кольцами подшипников ОШ. К фланцам стаканов с помощью болтов 24 закреплены рычаги 32 поворота лопасти.

Во внутренней полости цапф коромысла при помощи пальцев 33 закреплены пластинчатые торсионы 37, выполняющие роль упорных подшипников. Другим концом торсионы закреплены в стакане ОШ с помощью болта 41. Торсионы 37 имеют 29 пластин из титанового сплава В-14 толщиной 0,9 мм каждая. Торсионы воспринимают центробежную силу лопасти и закручиваются при изменении шага РВ.

Для уменьшения шарнирного момента в путевом управлении (т.е. усилий на педалях ножного управления) на втулке РВ установлены противовесы 6. В рычагах поворота лопастей смонтированы карданные шарниры 31, связанные с поводком 7 регулируемыми тягами. Поводок имеет два рычага с проушинами для регулируемых тяг и крепится к ползуну 8,двигающемуся по внутренним шлицам ступицы втулки РВ. Ползун 8 связан со штоком хвостового редуктора через двухрядный шариковый подшипник 9. Весь узел закрыт гофрированным резиновым чехлом.

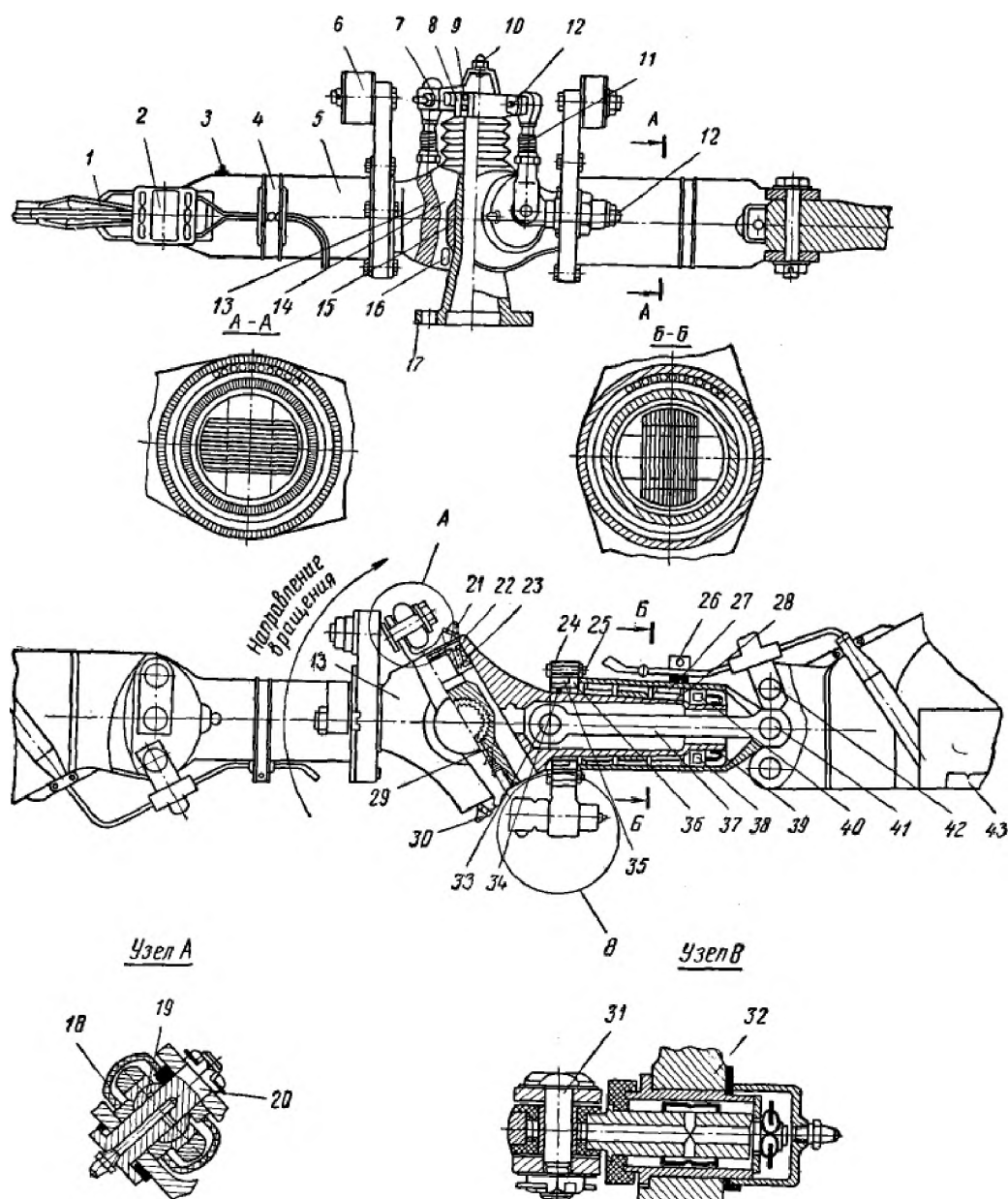


Рис. 3.41 Втулка рулевого винта вертолета Ми-2 [25]:

1-трубка, 2-кронштейн, 3,30-масленки, 4-хомут, 5-стакан, 6-противовес, 7-поводок, 8-ползун, 9-шарикоподшипник, 10,14,38-гайки, 11-тяги, 12,21,25-крышки, 13-коромысло, 15-траверса, 16-ограничитель взмаха, 17-ступица, 18-защитный чехол, 19-шарнирный подшипник, 20,24,29,41,42-болты, 22,27-кольца, 23-конический подшипник, 26-втулка, 28-иглообразный подшипник, 31-карданный шарнир, 32-рычаг, 33-палец крепления торсионов, 34,35,36-сальники, 37-торсион, 39-манжета, 40-шайба, 43-нагреватель ПОС.

Втулка РВ на кардане (рис. 3.42 - 3.43) имеет карданный подвес, который выполняет ту же функцию, что и совмещенный ГШ. Кардан позволяет отклоняться втулке относительно плоскости вращения на $\pm 10^\circ$ в любом направлении. Центробежные силы замыкаются на корпусе втулки и не передаются на кардан. Недостаток: изменение частоты вращения вала трансмиссии при наклоне плоскости рулевого винта. Эта неравномерность воспринимает-

ся упругой трансмиссией вертолѐта, вызывает знакопеременное закручивание длинного хвостового вала и гасится в упругих муфтах.

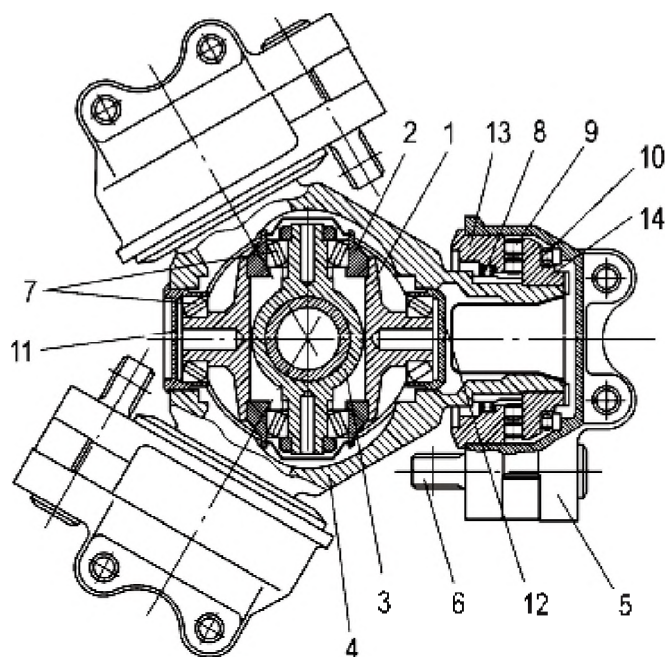


Рис. 3.42 Схема конструкции втулки РВ на кардане:

1 – корпус кардана; 2 – крышка; 3 – траверса 4 – корпус втулки; 5 – корпус осевого шарнира; 6 – рычаг поворота лопасти; 7, 8 – роликовые подшипники; 9, 10 – упорные роликовые подшипники; 11, 12 – стаканы подшипников; 13, 14 – гайки.

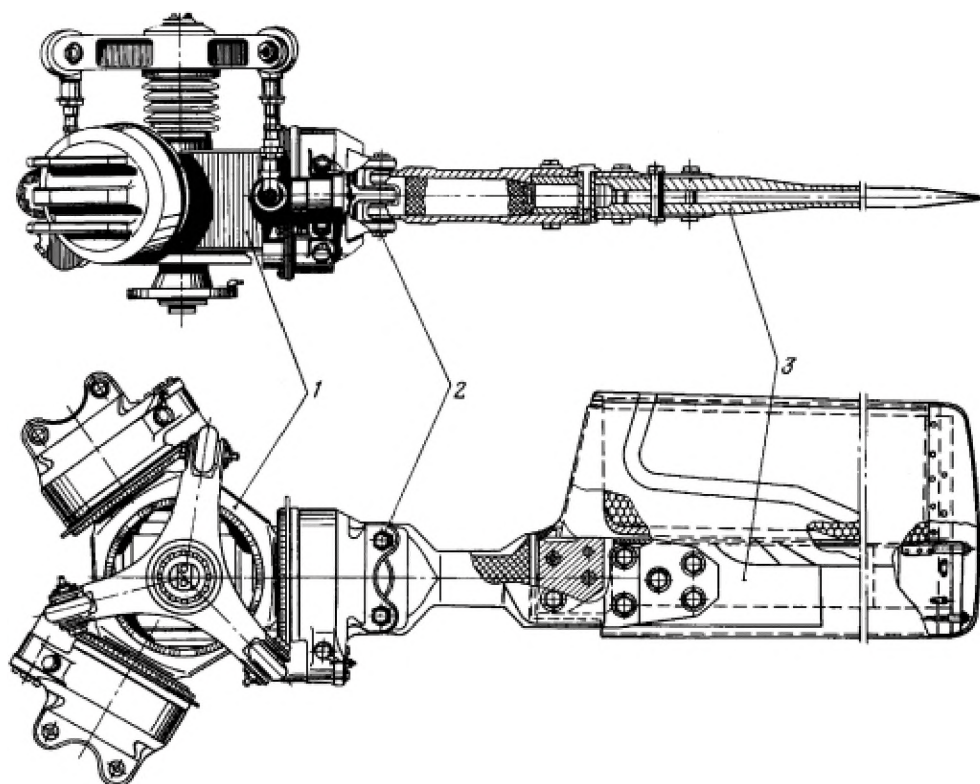


Рис. 3.43 Общий вид рулевого винта вертолѐта Ми-8 с втулкой на кардане [8]:

1- корпус втулки, 2 - корпус осевого шарнира, 3- лопасть.

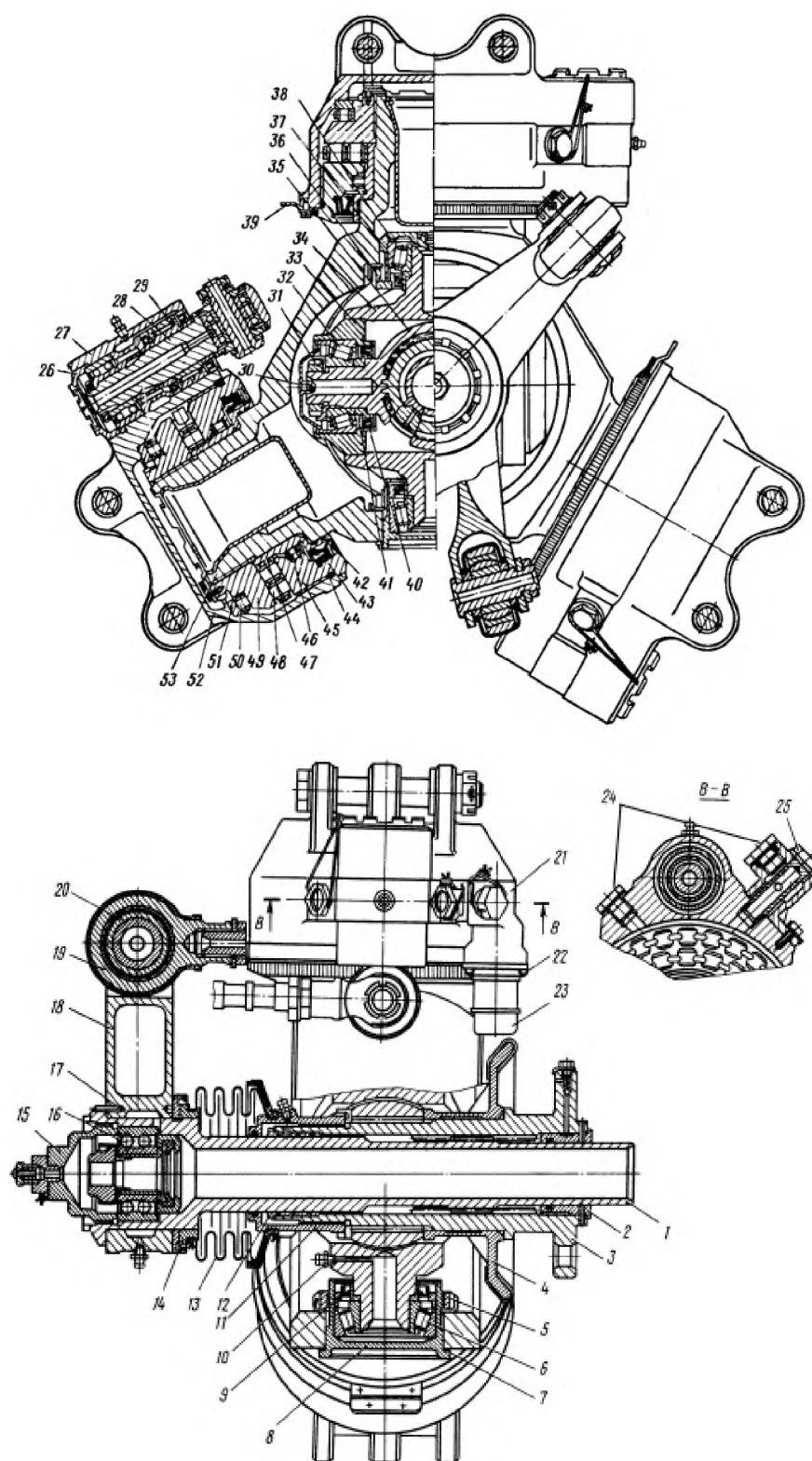


Рис. 3.44 Втулка рулевого винта вертолета Ми-24 [13]:

1 - ползун; 2, 12 - бронзовые втулки; 3 - ступица; 4 - ограничитель взмаха; 5, 11, 14, 31, 36, 45, 49 - гайки; 6, 32, 46, 48, 50 - роликовые подшипники; 7, 38, 41 - регулировочные кольца; 8, 33, 37 - стаканы роликоподшипников; 9, 17, 40, 43 - армированные манжеты; 10 - пресс-масленка; 13 - чехол; 15 - гайка-крышка; 16, 27 - шариковые подшипники; 18 - поводок; 19 - тяга поворота лопасти; 20 - сферический подшипник; 21 - болт; 22 - масляный бачок; 23 - контрольный стакан; 24 - пробки; 25 - клапан; 26 - колпачковая гайка; 28 - валик; 29 - игольчатый подшипник; 30 - крышка; 34 - корпус кардана; 35 - траверса; 39 - шайба; 42, 44 - уплотнительные кольца; 47 - упорное кольцо; 51 - кольцо упорного подшипника; 52 - корпус осевого шарнира; 53 - корпус втулки.

Втулка РВ вертолета Ми-24 (см. рис. 3.44) состоит из следующих основных узлов: ступицы 3, кардана, осевых шарниров, поводка с ползуном, тяг поворота лопасти.

Ступица 3 втулки РВ изготовлена из стали за одно целое с фланцем, которым она крепится при помощи болтов к фланцу ведомого вала хвостового редуктора. На ступице установлены ограничитель взмаха 4 и траверса 35. Внутри ступицы 3 имеются шлицы, по которым перемещается ползун 1.

Кардан втулки РВ состоит из траверсы 35, корпуса 34 кардана и корпуса 53 втулки, изготовленных из легированной стали. Траверса 35 внутренними шлицами установлена на ступице 3. На двух цапфах траверсы смонтированы внутренние кольца конических роликовых подшипников 32. Подшипники в крышках имеют пресс-масленки для шприцевания смазки.

Корпус 34 кардана имеет вид крестовины, во внутренние цилиндрические расточки которой запрессованы стальные стаканы 33 для установки наружных колец роликовых подшипников 32. Все подшипники имеют на крышках защитные манжеты и пресс-масленки.

На наружных цапфах корпуса кардана, ось которых составляет угол 90^0 с осью расточки корпуса, установлены кольца конических роликовых подшипников 6.

Кардан втулки РВ является совмещенным ГШ, общим для всех лопастей РВ. Он обеспечивает наклон плоскости вращения корпуса втулки РВ и лопастей на угол -8^0 до $+10^0$ от плоскости вращения ступицы 3.

Корпус 53 втулки РВ имеет три цапфы, угол между осями которых равен 120^0 . Цапфы совместно с корпусами 52 образуют осевые шарниры втулки. На цапфу напрессовывается упорное кольцо 47, на котором установлены специальный роликовый подшипник 46, воспринимающий перерезывающие силы, и двухрядный упорный роликовый подшипник 48, воспринимающий центробежную силу лопасти и большую часть изгибающих моментов.

При вращении РВ лопасти совершают колебательные движения относительно оси совмещенного ГШ, а это вызывает вращательное перемещение сепаратора подшипника 48, что способствует равномерному его износу.

Корпус 52 осевого шарнира выполнен из стали, снаружи имеет гребенку для крепления лопасти. В расточке бокового прилива корпуса на двухрядном шариковом 27 и игольчатом 29 подшипниках установлен валик 28 поворота лопасти.

Для обеспечения смазки подшипников осевого шарнира к корпусу специальным болтом 21 закреплен масляный бачок 22 с мерным стаканом 23 из оргстекла для контроля уровня масла.

Узел поводка, обеспечивающий изменение шага РВ, состоит из ползуна 1, поводка 18 и тяг 19 поворота лопастей. Поводок стальной и своей ступицей запрессован на ползун 1, зафиксирован штифтом и гайкой 14. Поводок имеет три рычага, которые заканчиваются вилками для соединения с тягами 19. Ползун выполнен из легированной стали в виде пустотелого валика с наружными шлицами, соединяющими его со ступицей 3 втулки РВ.

В расточку головки ползуна в собственном корпусе установлен двухрядный радиально-упорный шариковый подшипник 16 с манжетой 17. Во внутреннее кольцо подшипника 16 установлена стальная втулка, которая монтируется на шток механизма изменения шага РВ. Выступающая часть ползуна между поводком и ступицей закрыта защитным резиновым чехлом 13.

Тяга 19 поворота лопасти, регулируемая по длине, состоит из вилки, стержня и ушкового наконечника. Вилка тяги соединена болтом с валиком 28, а ушковый наконечник с рычагом поводка 18 при помощи сферического шарнирного подшипника 20, установленного в отверстии ушка тяги.

При изменении шага РВ ползун 1, перемещаясь во втулках 2 и 12 в осевом направлении и вращаясь вместе со ступицей 3 через поводок 18 и тяги 19, поворачивает лопасти на определенный установочный угол, чем достигается изменение шага РВ.

РВ с отдельными ГШ (рис. 3.45 - 3.46) применяется на средних и тяжелых вертолетах, где на втулку РВ приходят значительные изгибающие моменты. Корпус втулки 1 имеет проушины, в которых установлен палец 4 ГШ на игольчатых подшипниках. Он крепит скобу 3. Корпус втулки соединяется с валом хвостового редуктора с помощью эвольвентных шлицов. Центробежная сила и изгибающий момент от лопасти передаются на втулку посредством стакана ОШ через игольчатые подшипники 6. Рычаг преобразует поступательное движение во вращательное движение корпуса осевого шарнира. Противовесы за счёт центробежных сил создают кабрирующий момент относительно продольной оси лопасти, чем уменьшают шарнирные моменты и усилие в проводке управления. Массу противовесов выбирают так, что при разрушении проводки управления лопасти автоматически устанавливаются на угол, соответствующий крейсерскому режиму.

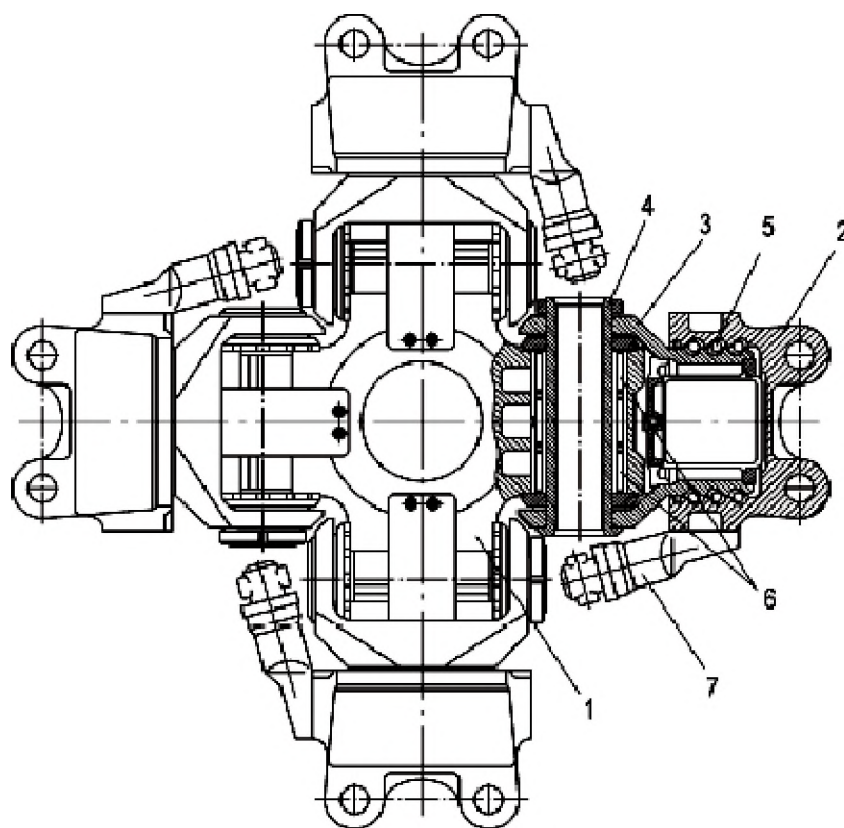


Рис. 3.45 Схема конструкции втулки РВ с отдельными ГШ:

1 – корпус втулки; 2 – корпус ОШ; 3 – скоба; 4 – палец ГШ; 5 – радиально-упорный шарикоподшипник; 6 – игольчатый подшипник; 7 – рычаг поворота лопасти.

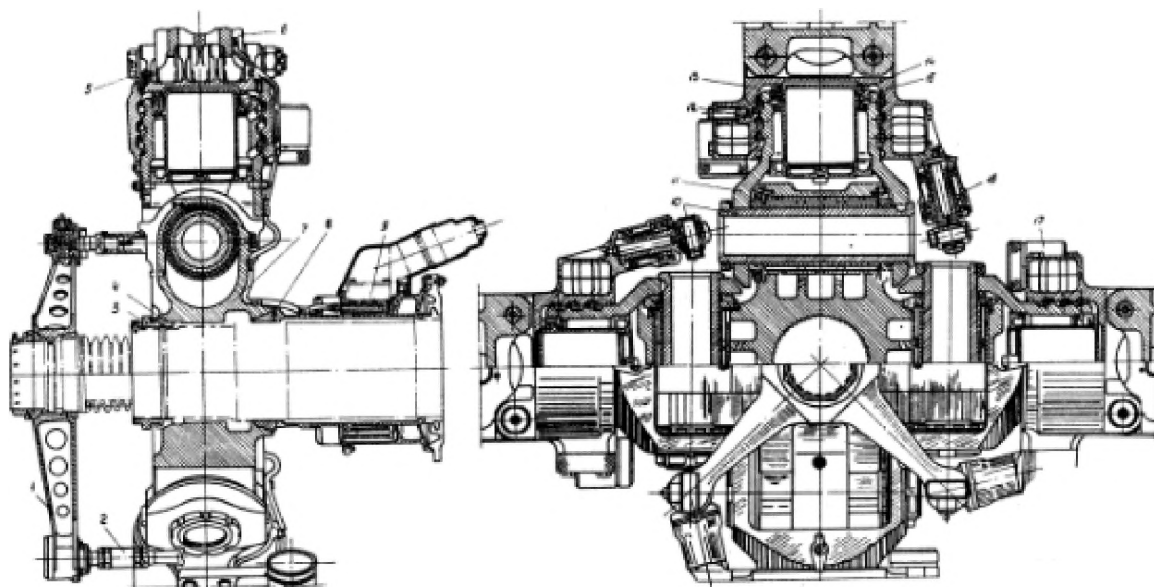


Рис. 3.46 Четырехлопастная втулка РВ вертолета S-58 [4]:

1-крестовина поводка изменения шага, 2-тяги, 3,15-гайки, 4-передний конус, 5-стыковочный болт, 6-наконечник лопасти, 7-корпус втулки, 8-задний конус, 9-токосъемник, 10-палец горизонтального шарнира (ГШ), 11-скоба, 12-шарики подшипника осевого шарнира (ОШ), 13-стакан ОШ, 14-ролик подшипника, 16-рычаг поворота лопасти, 17-противовес.

Втулка Х-образного рулевого винта имеет больший КПД, большую тяговую эффективность, меньший уровень шума – это два соосных двухлопастных винта, установленные на определенном расстоянии и под определённым углом друг к другу. Каждый из них по конструкции и работе похож на рулевой винт Ми-2 с совмещённым и повернутым ГШ. При этом центробежные силы из первой гармоники кориолисовых сил уравниваются в ГШ. В настоящее время такие втулки РВ нашли большое распространение как за рубежом, так и в нашей стране особенно на боевых вертолетах. Схема и кинематические параметры втулки Х-образного РВ показаны на рис. 3.47. На рис. 3.48 показана втулка Х-образного рулевого винта вертолета Ми-171.

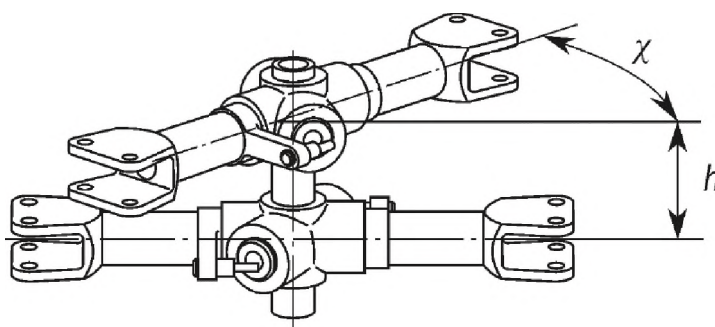


Рис. 3.47 Схема втулки Х-образного рулевого винта вертолета.

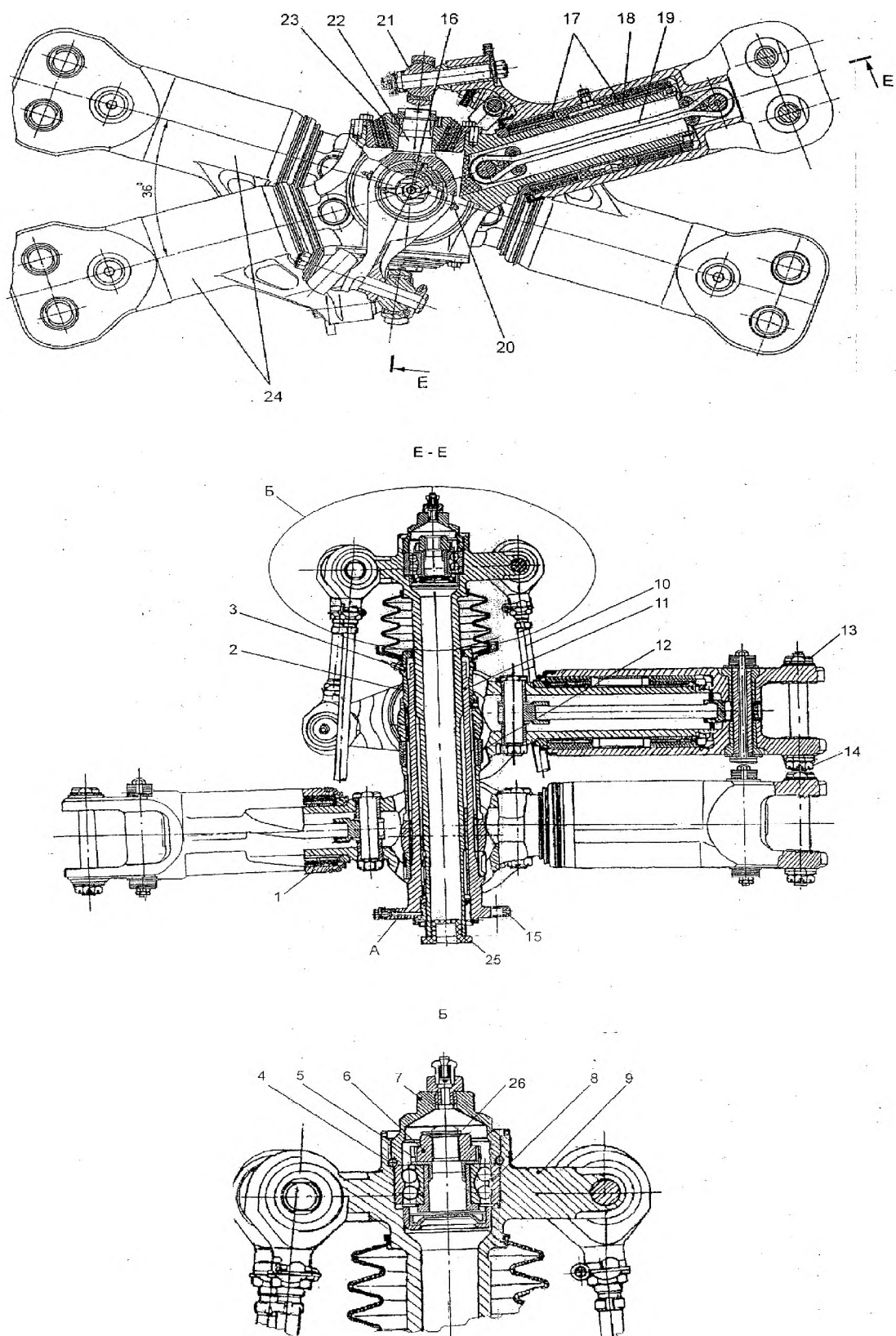


Рис. 3.48 Втулка Х-образного рулевого винта вертолета Ми-171 [14]:

1-корпус ОШ, 2-гайка ступицы, 3-масленка, 4-стопорное кольцо, 5-шайба, 6-гайка, 7-крышка, 8-двухрядный шариковый подшипник, 9-ползун, 10-тяги, 11-ступица, 12-ограничитель взмаха, 13-гайка, 14-болт крепления лопасти, 15-фланец ступицы, 16-клапан, 17-опора ОШ (подшипник скольжения), 18-коромысло, 19-проволочный торсион, 20-пресс-масленка, 21- подшипник шарнирный, 22-траверса, 23-опора, 24-корпус ОШ, 25-заглушка.

3.5 Втулка рулевого винта типа "винт в кольце"

Вращающиеся лопасти РВ, близко расположенные от поверхности земли, представляют повышенную опасность для обслуживающего персонала и могут явиться причиной аварий и поломок лопастей при полете вблизи препятствий и на площадках ограниченных размеров. Этот недостаток отсутствует у РВ типа "винт в кольце", состоящего из многолопастного винта, расположенного в профилированном кольцевом канале киля (рис. 3.49 - 3.50). Недостатком такого РВ является более высокая потребляемая мощность, чем у обычных РВ.

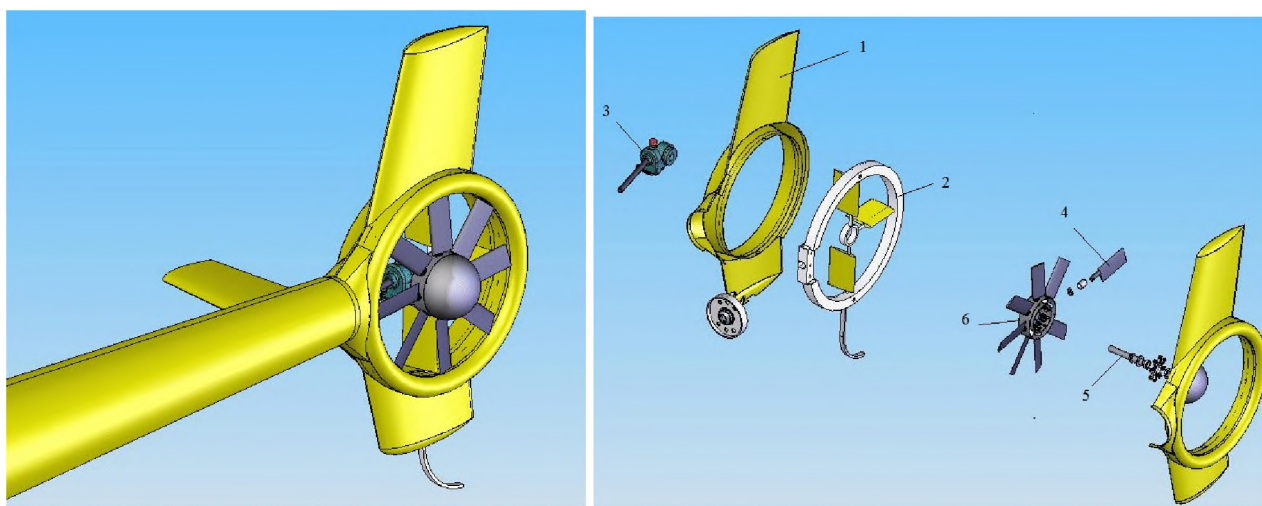


Рис. 3.49 Втулка РВ типа "фенестрон" (винт в кольце):

1— киль, 2— кольцевой канал, 3— редуктор, 4— лопасть, 5— вал винта, 6— многолопастный винт.

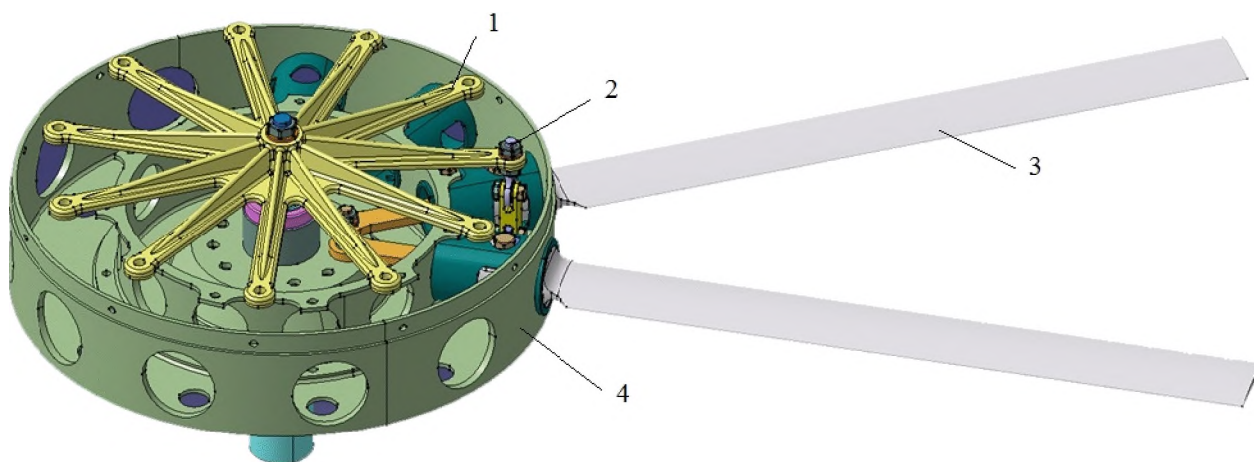


Рис. 3.50 Конструкция корпуса втулки РВ типа "винт в кольце":

1— управляющий кронштейн, 2— поводок, 3— лопасть, 4— корпус с ОШ и торсионом.

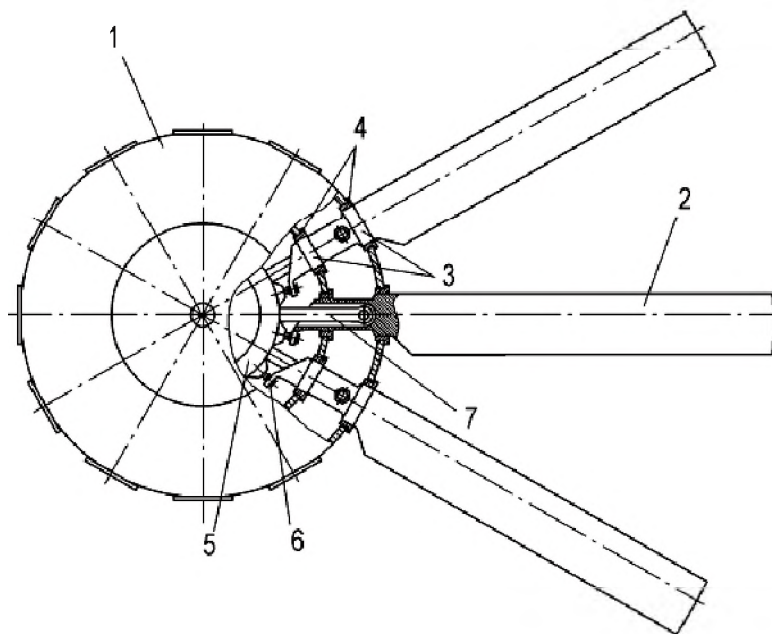


Рис. 3.51 Компановка узлов РВ типа "винт в кольце":

1 – корпус втулки; 2 – лопасть; 3 – внутренние кольца радиальных подшипников скольжения; 4 – наружные кольца радиальных подшипников скольжения; 5 рычаг ОШ; 6 – рычаг поворота лопасти; 7 – торсион.

Управление многолопастным винтом осуществляется за счет поворота лопасти в ОШ в виде подшипника скольжения и закручивания торсиона, воспринимающего осевую центробежную силу (рис. 3.51). На рис. 3.52 показана втулка РВ типа "винт в кольце" вертолета Ка-60.

Применение упругих пластиковых торсионов 9 (см. рис. 3.52), воспринимающих центробежные силы лопастей РВ, одновременно закручивающихся от изменения положения рычага общего шага 4 (обладающего малой жесткостью на кручение) совместно с применением тканевых подшипников 7 в стакане ОШ лопасти через поводок 23, позволили создать конструкцию втулки РВ, которая практически не требует технического обслуживания. Композит хорошо сопротивляется усталостному разрушению при знакопеременных нагрузках, а значит увеличивается ресурс втулки НВ. Также применение деталей из ПКМ снижает вес всего агрегата. Кроме этого, композитные торсионы из-за своей слоистой структуры хорошо демпфируют колебания, приходящие с лопастей на корпус втулки.

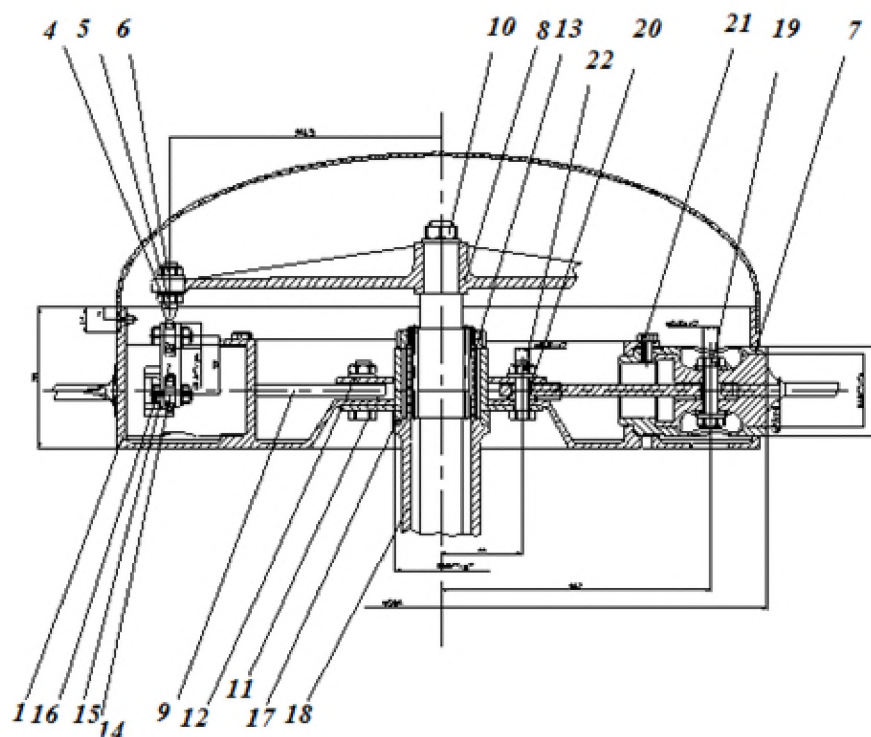
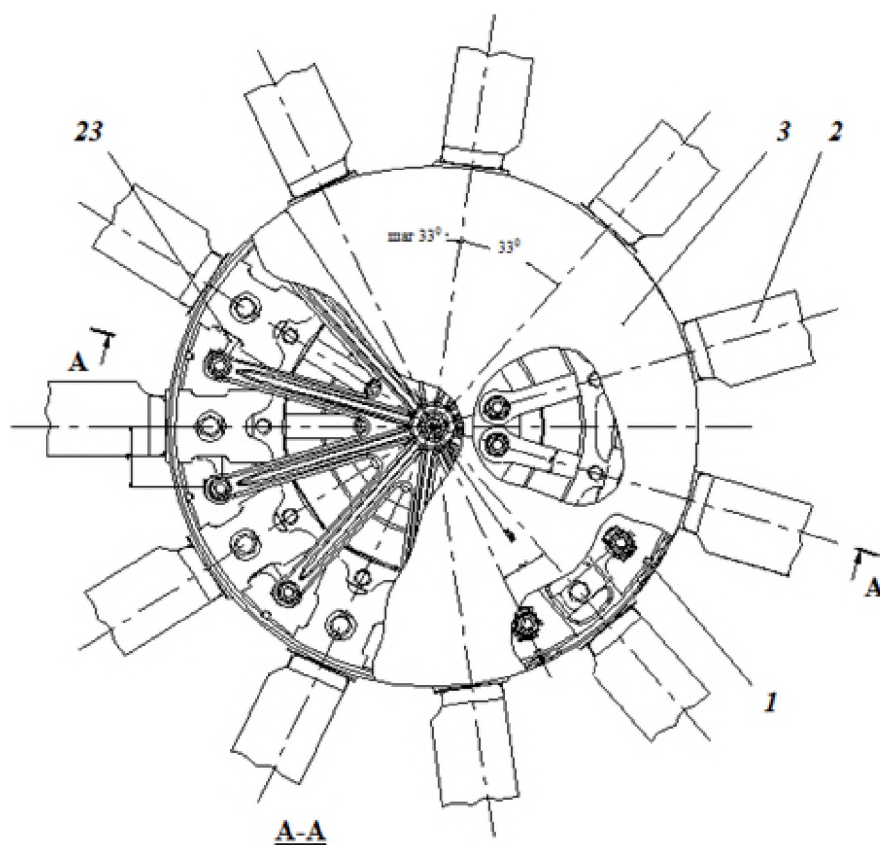


Рис. 3.52 Конструкция втулки РВ типа "винт в кольце" вертолета Ка-60 [7]:

1-корпус; 2- лопасть; 3- съемный обтекатель втулки; 4-рычаг общего шага; 5- болт; 6- втулка; 7- стакан ОШ лопасти с тканевыми подшипниками; 8- кольцо управления; 9- торсион; 10- гайка крепления кольца управления; 11-фланец; 12- вал; 13- гайка крепления внутреннего вала; 14- втулка; 15-гайка; 16- болт крепления рычага к поводку лопасти; 17- распорная втулка; 18-корпус фланца; 19-болтовое крепление торсиона к лопасти; 20- узел крепления торсиона к фланцу; 21- болтовое крепление стакана ОШ; 22- втулка; 23-поводок лопасти.

4. Элементы и агрегаты втулок несущих и рулевых винтов вертолетов, особенности их конструкции и работы.

4.1 Элементы втулок несущих винтов

К элементам втулок относятся корпуса ступицы, рукава, осевые и радиальные упорные подшипники, узлы крепления лопастей и элементов конструкции втулок из различных сплавов (рис. 4.1- 4.3).

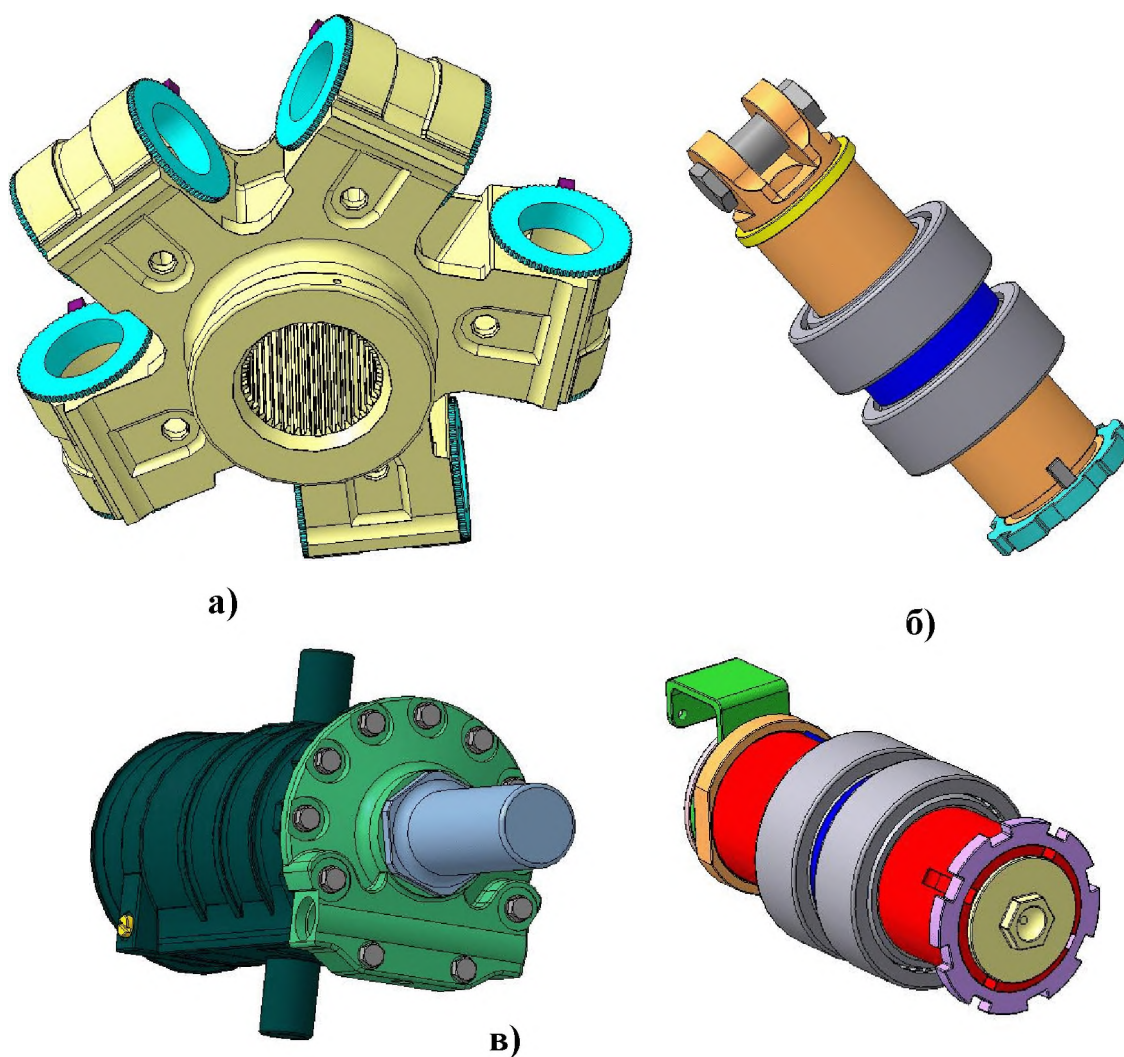


Рис. 4.1 Элементы втулки НВ вертолета Ми-8:

а- корпус втулки НВ, б- подшипники осевого шарнира, в- гидравлический демпфер.

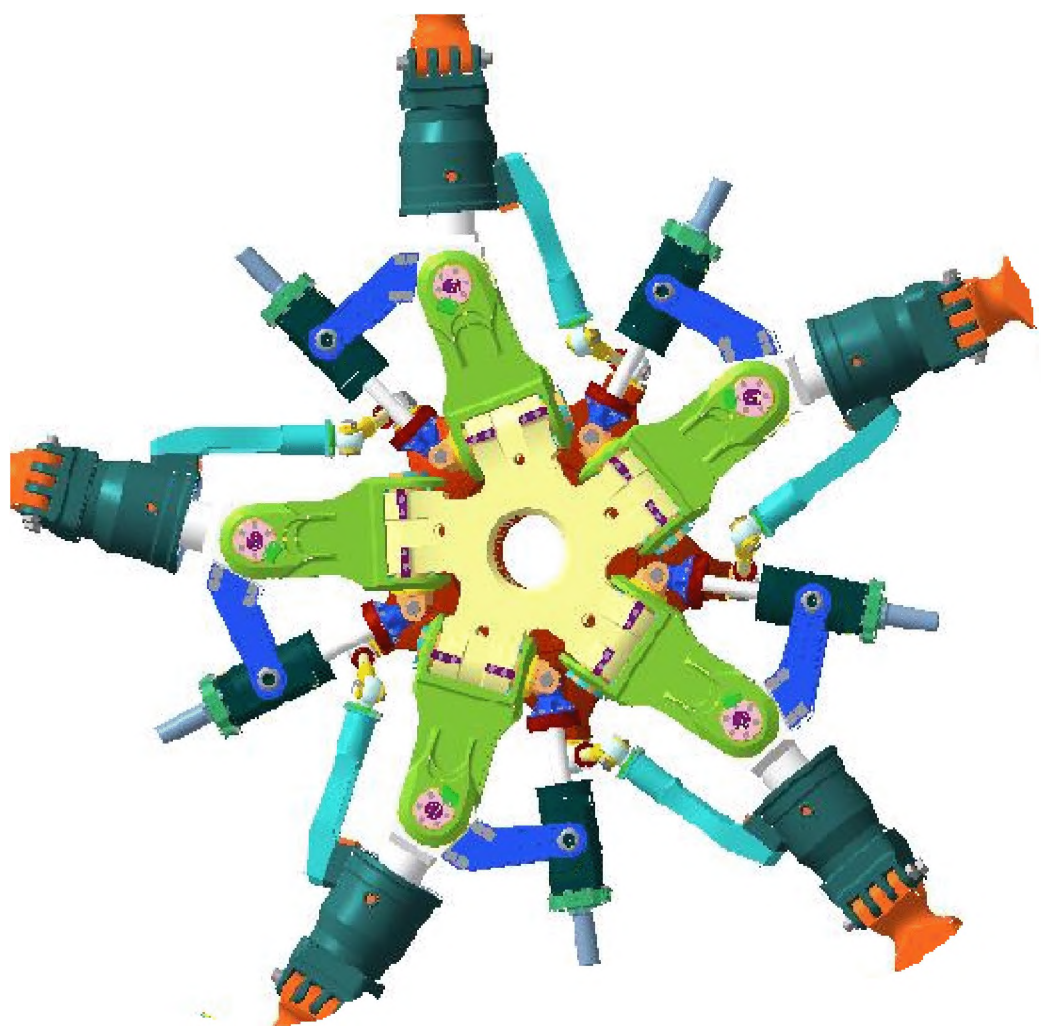


Рис. 4.2 Рукава втулки НВ вертолета Ми-8.



Рис. 4.3 Корпус ступицы втулки НВ соосного вертолета Ка-26.

4.2 Центробежные ограничители свеса

На рис. 4.4 показан центробежный ограничитель свеса, предназначенный для того, чтобы при стоянке на земле служить опорой лопасти, ограничивая ее свес и предохранения технического персонала и части конструкций от удара при раскрутке НВ при запуске. Угол свеса в полете определяется максимально возможным отрицательным углом взмаха лопастей (взмах лопасти ниже плоскости, проходящей через ГШ).

Принцип работы основан на отклонении специального упора на поводке, соединенным с грузом под действием центробежной силы. На стоянке и при раскрутке ротора, когда центробежная сила мала, упор удерживает лопасть, ограничивая ее свес. По достижении определенных оборотов, центробежная сила, действуя на груз, отклоняет упор в убранное положение.

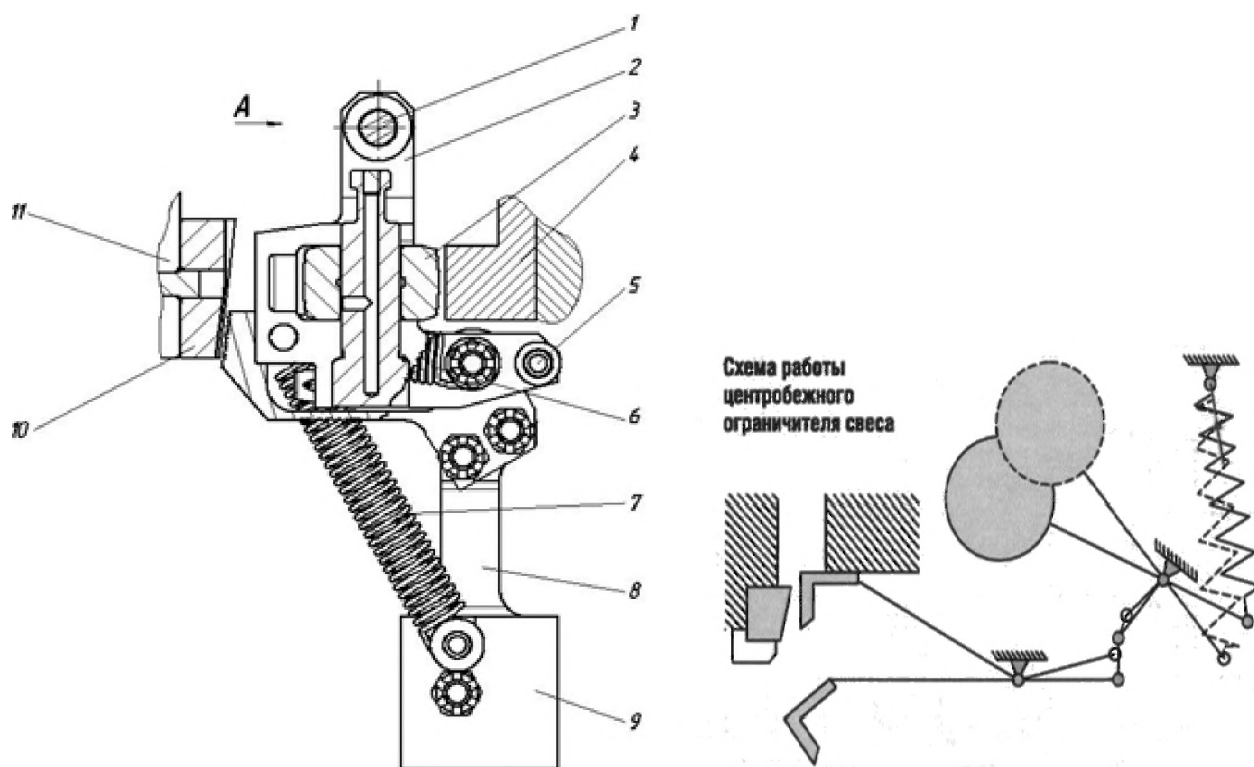


Рис. 4.4 Конструкция и схема работы центробежного ограничителя свеса:

1- ось навески скобы, 2- скоба, 3- ролик, 4- упор на поводке, 5- ось подвески, 6,7- пружины, 8- подвеска, 9- груз, 10- упор ограничителя свеса, 11- упор на корпусе втулки.

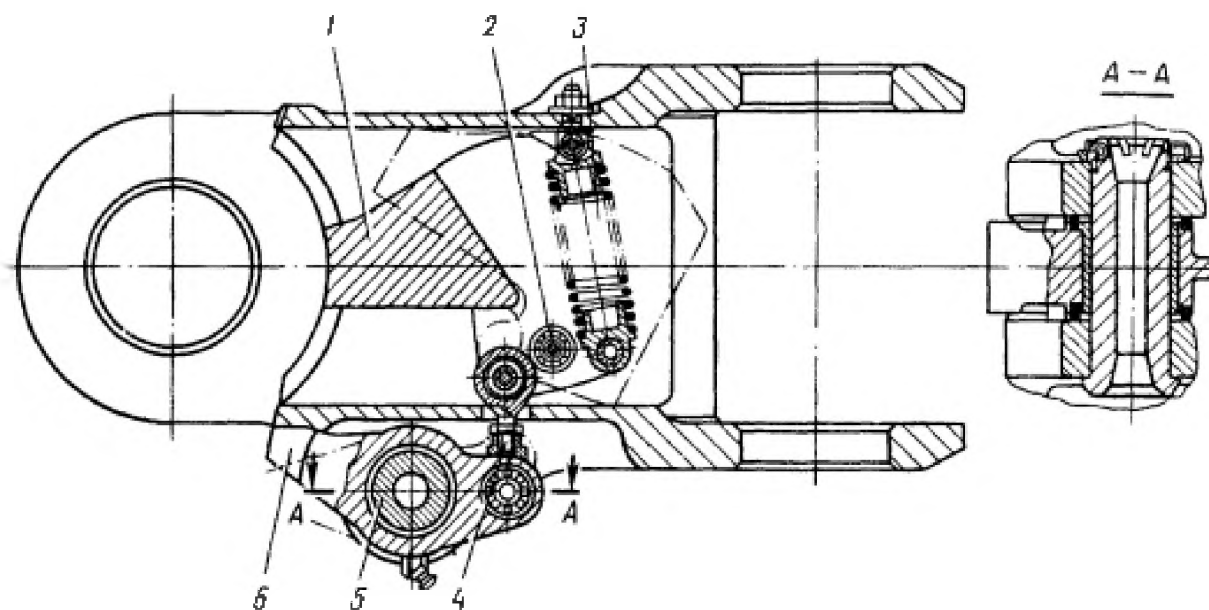


Рис. 4.5 Центробежный ограничитель свеса лопасти вертолета Ми-8 [8].

1- противовес; 2,5- палец; 3- пружина; 4- тяга; 6- собачка.

Центробежный ограничитель свеса лопасти вертолета Ми-8 (рис. 4.5) состоит из противовеса 1, пальцев 2 и 5, тяги 4, пружины 3 и собачки 6. При раскрутке несущего винта по мере увеличения скорости вращения действующая на противовес центробежная сила начинает поворачивать противовес и собачку. При достижении частоты вращения 108 об/мин упор собачки ограничителя отходит вниз настолько, что при маховом движении лопасти уже не ограничивает ее взмах вниз. При вращении несущего винта с частотой более 108 об/мин маховые движения лопастей вниз ограничиваются постоянными упорами скобы, которые позволяют отклоняться лопасти вниз на угол $4^{0+10'}_{-20'}$, что необходимо для получения аэродинамических характеристик винта.

При частоте вращения несущего винта менее 108 об/мин вследствие уменьшения центробежной силы противовеса начинается обратное движение частей механизма и при частоте вращения 95 об/мин и менее пружина 3 устанавливает противовес 1 и собачку 6 в исходное положение, при котором свес лопастей ограничивается углом в $1^{\circ}40'$.

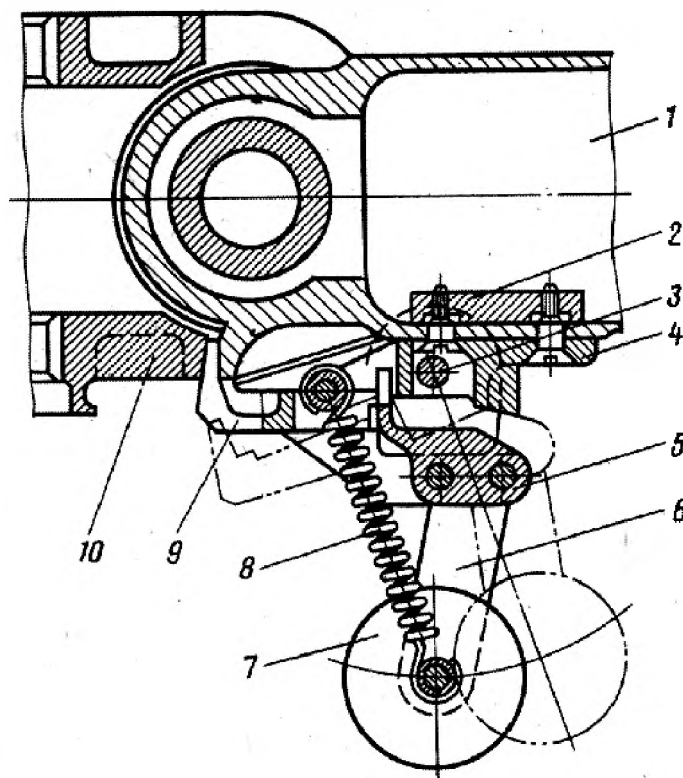


Рис. 4.6 Центробежный ограничитель свеса втулки НВ вертолета Ка-26 [5]:

1-вертикальный ограничитель, 2-сухарь, 3-болт, 4-кронштейн крепления, 5-подвижный кронштейн, 6-пластины, 7-груз, 8-пружина, 9-зуб упора свеса, 10-корпус втулки НВ.

На соосных вертолетах центробежные ограничители свеса служат также для предотвращения сближения лопастей верхнего и нижнего винтов на малых частотах вращения при взмахе лопастей нижнего винта от случайных порывов ветра. На рис. 4.6 показан центробежный ограничитель свеса втулки НВ вертолета Ка-26. При малых частотах вращения несущих винтов зуб упора свеса 9 под действием пружины 8 находится в зазоре между упорами корпуса втулки НВ 10 и вертикального ограничителя 1, уменьшая таким образом свес лопасти. При увеличении частоты вращения НВ грузы 7 под действием центробежной силы начинают преодолевать сопротивление пружины 8 и выводить зуб упора свеса 9 из зазора. На частоте вращения НВ 230_{-20} об/мин диапазон поворота упора свеса 9 с грузами 7 составляет $20^{+30'}$. Вход упора свеса в зазор 9 заканчивается при частотах вращения НВ 170_{-5}^{+10} об/мин. Таким образом, на рабочих частотах вращения НВ упор свеса 9 не препятствует маховому движению лопасти.

4.3 Упругие демпферы колебаний лопастей относительно вертикального шарнира

Введение в конструкцию втулки несущего винта ВШ привело к возникновению явления самопроизвольного колебания (раскачивания) вертолета на земле с нарастающей амплитудой (“земного резонанса”). С целью предотвращения попадания в этот режим в конструкции втулки начали вводить упругие демпферы колебаний лопасти в плоскости ее вращения с целью ограничения частоты колебаний лопасти.

Эластомерный демпфер

Имеет конструкцию (рис. 4.7), где слои резины чередуются с жесткой металлической арматурой, допускающие большие линейные перемещения за счет упругих сдвиговых деформаций. Резина отличается высоким внутренним трением, проявляющимся при циклическом деформировании в виде гистерезисных потерь.

Достоинствами эластомерного демпфера является простота конструкции, малый вес.

Недостатками – малый ресурс из-за старения резины и чувствительность к низким температурам окружающего воздуха.

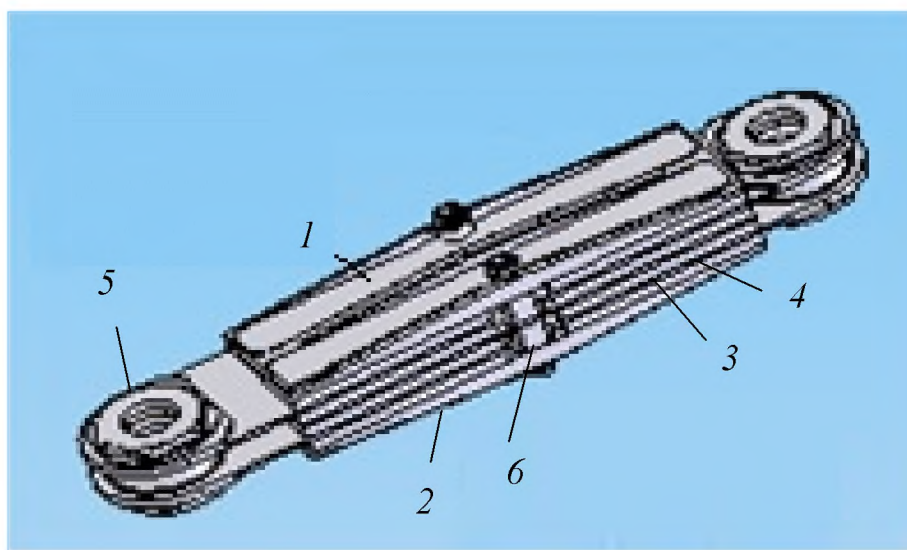


Рис. 4.7 Резино-металлический упругий демпфер втулки НВ Ми-34 [18]:

1-корпус верхний, 2-корпус нижний, 3-металлические пластины, 4-резина, 5-проушина крепления, 6-болты стяжки пакета.

Упругий демпфер ВШ

Демпфер вводится в конструкцию втулки НВ в виде упругой балки из стали, титанового сплава (рис. 4.8) или ПКМ (рис. 4.9). За счет упругих деформаций при изгибе упругой балки и диссипации механической энергии колебаний лопасти относительно ВШ осуществляется демпфирование.

Достоинством упругого демпфера ВШ из ПКМ является малый вес и лучшие характеристики демпфирования по сравнению с металлическими. *Недостатками* металлических демпферов являются только линейная характеристика демпфирования и малый ресурс, связанный с усталостью при циклических колебаниях.

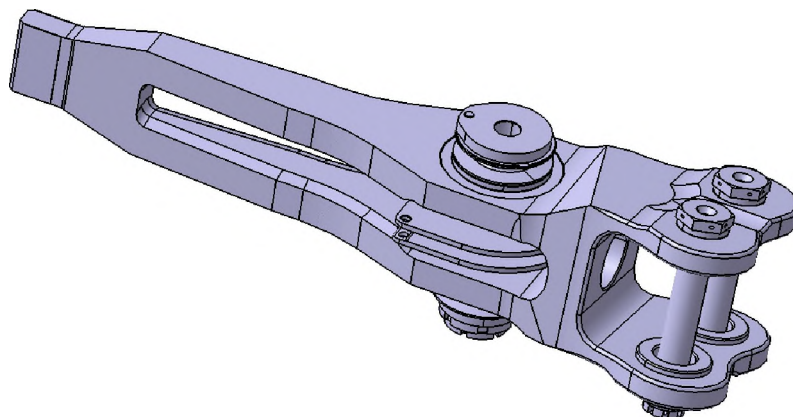


Рис. 4.8 Упругий демпфер ВШ из титанового сплава совмещенный с ВШ и узлом крепления лопасти для модификации вертолета Ка-226А [12]

В конструкции полужесткой втулки НВ новейшего вертолета Ка-62 вместо гидравлического демпфера применили упругий демпфер в виде упругой композитной балки из углепластика, которая гасит энергию колебаний лопасти в плоскости вращения НВ (рис. 4.9 - 4.10). Одним из достоинств ПКМ перед металлами здесь является внутреннее демпфирование деформируемых слоев композита. За счет упругих деформаций при изгибе упругой балки и диссипации механической энергии колебаний лопасти в плоскости винта осуществляется демпфирование, позволяющее выдерживать приемлемый частотный уровень колебаний.

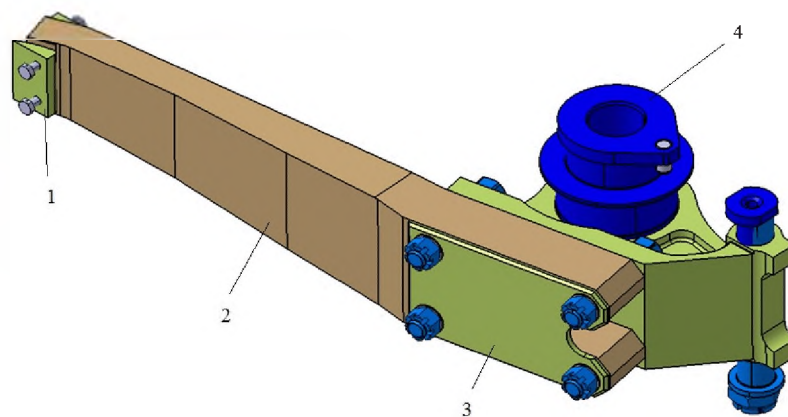


Рис. 4.9 Упругий демпфер ВШ из ПКМ вертолета Ка-62 [24]:

1,3-узлы крепления упругой балки-демпфера, 2-упругая балка-демпфер из углепластика, 4-узел ВШ.

Жесткость балки-демпфера на изгиб в плоскости вращения выбирается исходя из необходимости приведения частоты колебательного движения лопастей в плоскости вращения НВ к значению 0,7 цикла за оборот винта. Важнейшее преимущество композитов - возможность создания из них элементов конструкции с заранее заданными свойствами, наиболее полно соответствующими характеру и условиям работы таких упругих элементов, как балочные торсионы и демпферы втулки НВ. В качестве материала балки-демпфера применена углеродная ткань УТ-900-2,5 на связующем 5-211-БН. Балка изготавливается методом выкладки и горячего прессования в пресс-форме.

Достоинства применения ПКМ в конструкции втулки НВ:

- улучшение технологичности и существенное снижение стоимости изготовления и контроля работоспособности элементов втулки НВ;
- торсионы из ПКМ не имеют ограничений ресурса по усталостной прочности;
- хорошие демпфирующие свойства композитов;
- снижение на 30-40% веса втулки НВ вертолета .

Недостатки применения ПКМ в конструкции втулки НВ:

- снижение прочности и жесткости композитных элементов втулки НВ при воздействии влаги, внешней температуры и других погодных факторов;
- трудоемкость расчета НДС при сложном нагружении и прогнозирование ресурса композитных элементов втулки НВ.

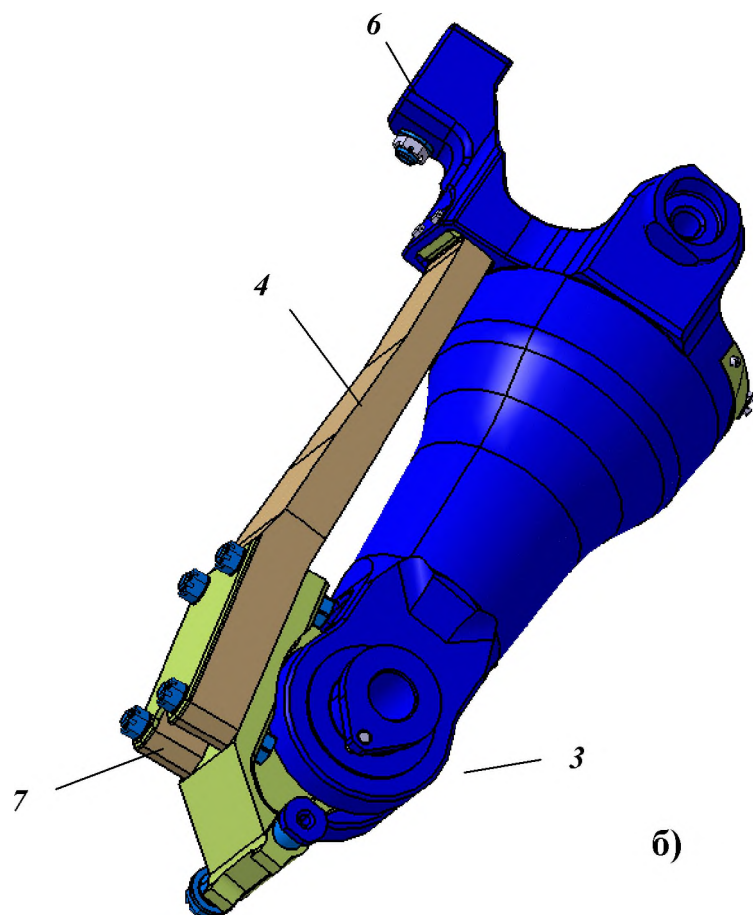
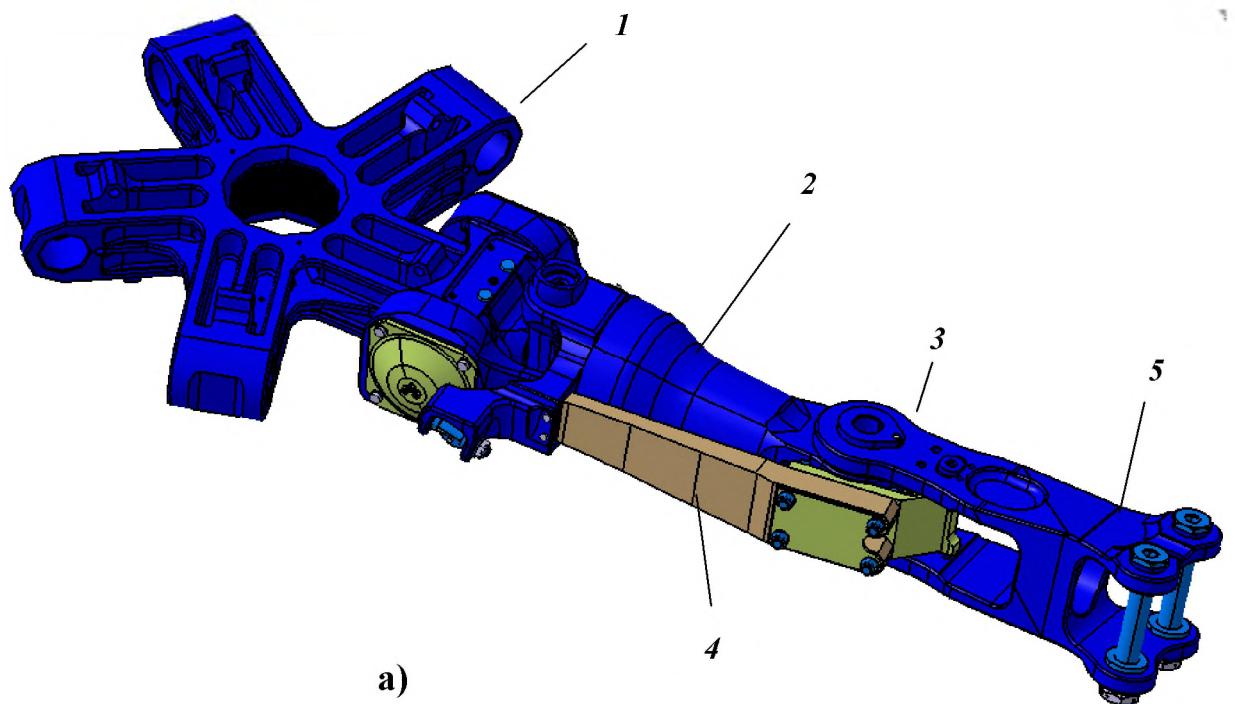


Рис. 4.10 Упругий демпфер из углепластика в составе втулки НВ вертолета Ка-62 [24]:
 а- общий вид, б- вид со стороны узла крепления лопасти: 1-корпус втулки НВ, 2- рукав, 3- узел
 вертикального шарнира, 4-балка-демпфер, 5- узел крепления лопасти, 6- рычаг поворота лопасти, 7- узел
 крепления балки-демпфера.

4.4 Гидравлические демпферы колебаний лопастей относительно вертикального шарнира

Гидравлические демпферы нашли широкое применение в конструкциях втулок НВ и РВ вертолетов различных классов. За счет перетекания гидрожидкости (рис. 4.11 - 4.12) через перепускные клапаны поршня при циклических движениях штока происходит диссипация энергии колебаний в нагрев жидкости. *Достоинствами* гидравлических демпферов является ступенчатая характеристика демпфирования (см. рис. 4.13), большая мощность демпфирования, надежность. *Недостатками* – большая чувствительность к отрицательным температурам воздуха, сложность конструкции и технического обслуживания.

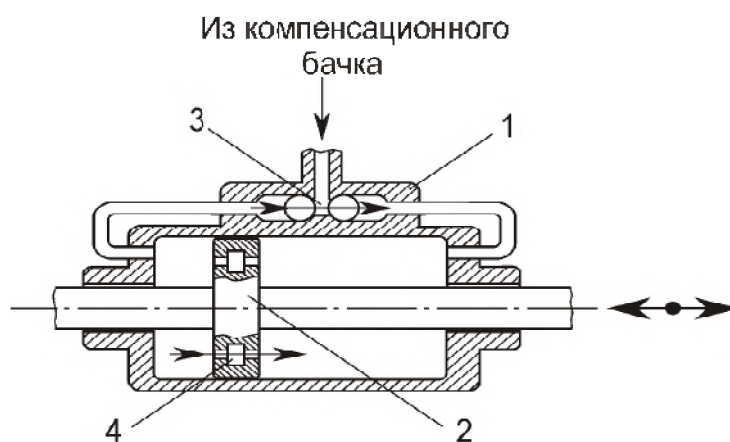


Рис. 4.11 Схема работы гидродемпфера колебаний лопасти относительно ВШ:

1 – цилиндр; 2 – шток с поршнем; 3 – компенсационный клапан; 4 – перепускной клапан.

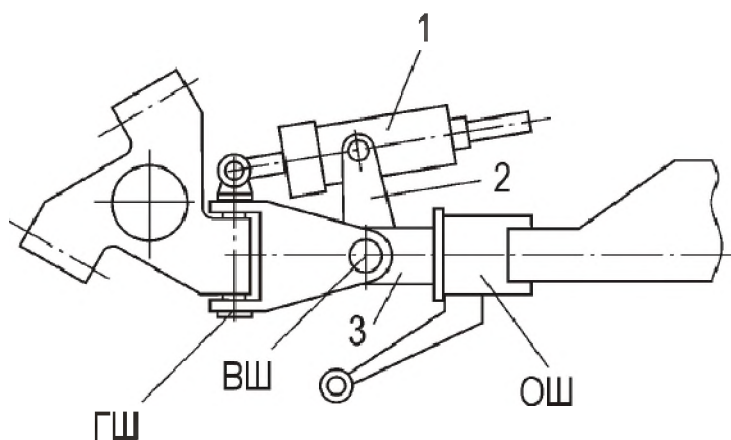


Рис. 4.12 Схема установки гидродемпфера на втулке несущего винта:

1 – демпфер; 2 – кронштейн; 3 – цапфа осевого шарнира.

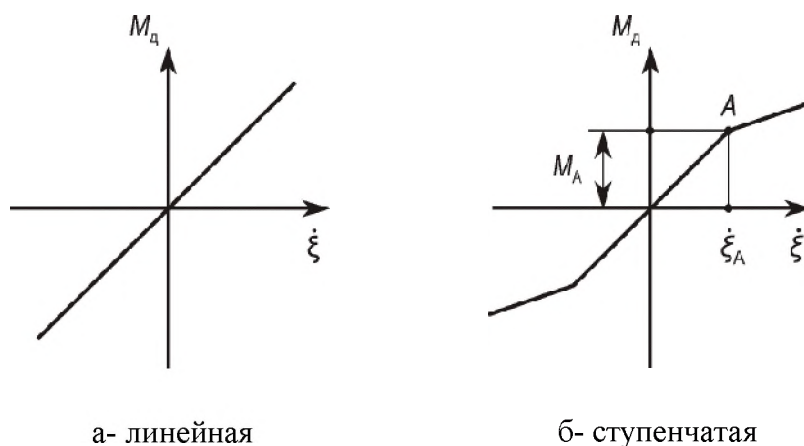


Рис. 4.13 Характеристики типовых гидравлических демпферов [27].

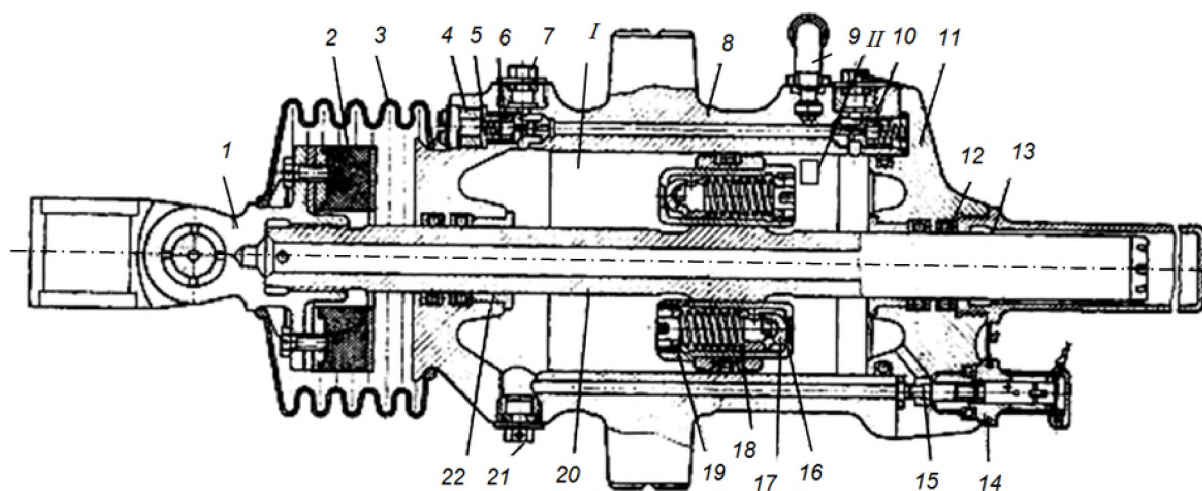


Рис. 4.14 Конструкция гидравлического демпфера ВШ втулки НВ вертолета Ми-2 [25]:

1-корпус упора, 2-амортизатор, 3-чехол, 4-пробка, 5-пружина, 6-регулирующая втулка, 7,21-пробки, 8-цилиндр, 9-штуцер, 10-клапан, 11-крышка, 12-уплотнительное кольцо, 13-стакан, 14-корпус иглы, 15-регулирующая игла, 16-корпус клапана, 17-конус клапана, 18-пружина, 19-гайка, 20-шток с поршнем, 22-втулка, I, II- полости демпфера.

Гидравлический демпфер втулки НВ вертолета Ми-2 (см. рис. 4.14) состоит из двух основных деталей: цилиндра 8 и поршня со штоком 20. Цилиндр 8 из стали с двумя цапфами устанавливается на игольчатых подшипниках, смонтированных в кронштейнах, соединенных болтами с фланцами цапф осевого шарнира. С одной стороны цилиндр 8 закрывается крышкой 11 на болтах. В днище цилиндра запрессованы бронзовые втулки 22, в которых перемещается шток 20. Во втулке установлены резиновые уплотнения. На среднюю резьбовую часть штока навинчен поршень с четырьмя перепускными клапанами. На поршне установлено резиновое уплотнительное кольцо.

Перепускной клапан состоит из корпуса 16 с седлом, конуса 17, пружины и гайки. Пружина прижимает конус к седлу, причем клапан срабатывает на давление $17 \pm 0,5$ кгс/см². На основных режимах полета демпфер работает с перепуском жидкости через перепускные клапаны.

На резьбовой конец штока навинчен корпус 1 упора, к которому болтами крепится амортизатор 2, состоящий из двух стальных пластин с резиной. Амортизатор предназначен для смягчения удара о задний ограничитель вертикального шарнира при раскрутке НВ.

Корпус упора с помощью серьги соединен с пальцем ГШ. Шарнирное соединение серьги с пальцем ГШ выполнено на игольчатых подшипниках, установленных в серьге.

На корпусе упора на цилиндр надевается гофрированный чехол 3, предохраняющий от загрязнения шток 20. В теле цилиндра просверлены перепускные каналы гидравлического демпфера и установлены компенсационные клапаны. Полость между этими клапанами через гибкий шланг связана с компенсационным бачком.

При малых скоростях перемещения поршня относительно цилиндра жидкость из полости I в полость II перетекает по каналам под небольшим давлением и усилие на штоке прямо пропорционально скорости перемещения штока. С увеличением скорости перемещения поршня давление жидкости возрастает, и при достижении 17 кгс/см² открываются перепускные клапаны, и основной поток жидкости устремляется через них. При этом усилие на штоке резко возрастает примерно до 500 кгс и остается постоянным практически на всех режимах полета вертолета, создавая демпфирующий момент на лопасти НВ. Небольшое количество жидкости при работе демпфера перетекает из одной полости в другую через компенсационные клапаны для компенсации центробежных сил движущейся жидкости. Из компенсационного бачка через компенсационные клапаны происходит непрерывное восполнение возможных утечек жидкости из демпферов, что обеспечивает надежную работу демпфера.

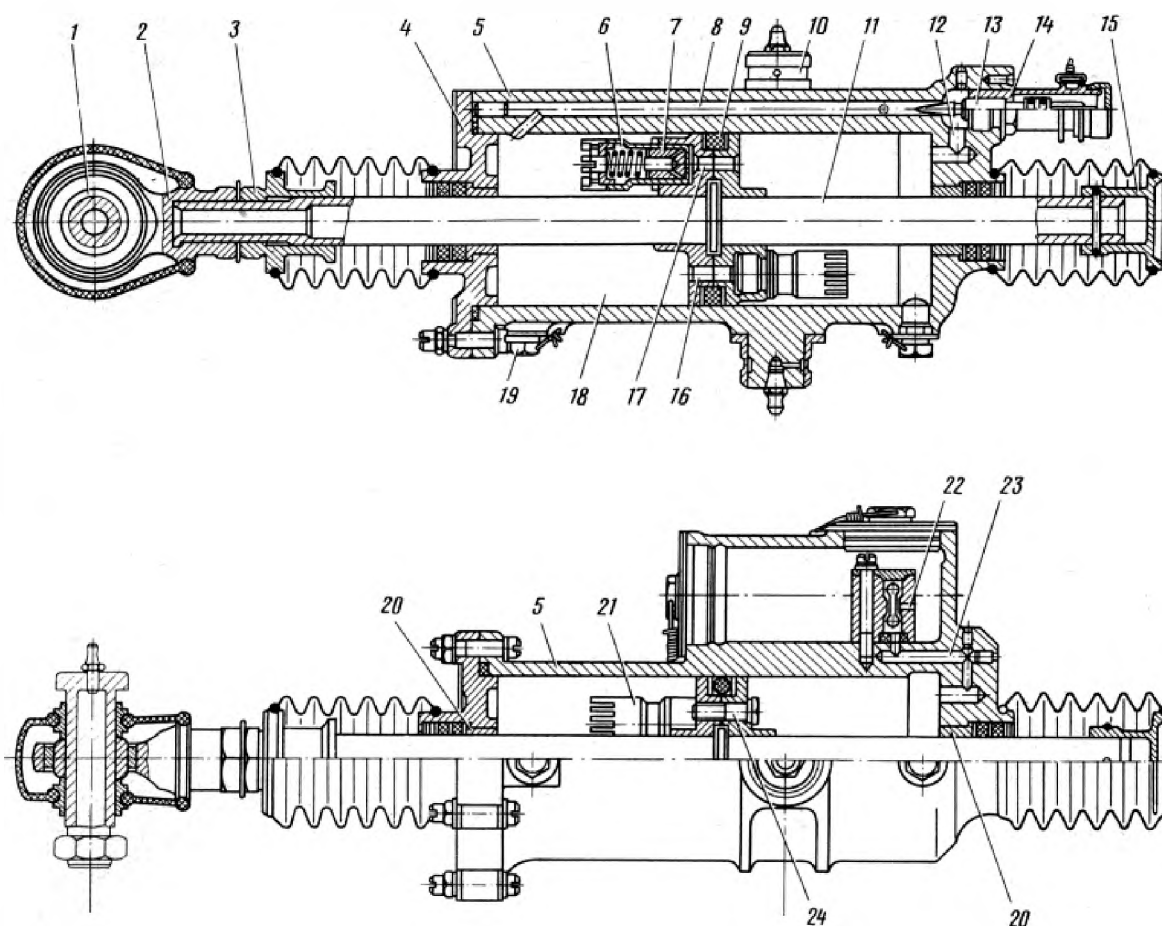


Рис. 4.15 Конструкция гидравлического демпфера ВШ втулки НВ вертолета Ка-26 [5]:

1-шарнирный подшипник, 2-наконечник, 3,20-втулка, 4-крышка, 5-корпус демпфера, 6-корпус клапана, 7-стакан клапана, 8,12,23-канал корпуса, 9-уплотнение, 10-цапфа, 11-шток, 13-дрессельная игла, 14-втулка дросселя, 15-стакан штока, 16-поршень, 17-отверстие поршня, 18-цилиндр, 19-пробки сливных отверстий, 20-втулка, 21-перегрузочный клапан, 22-канал пробки, 24-винт.

Гидравлический демпфер лопасти для соосного винта имеет некоторые особенности, связанные с ограничением взмаха лопасти, чтобы исключить перехлест лопастей. Из-за того, что центр масс втулки соосного винта располагается высоко, соосный вертолет склонен к попаданию в режим "земного резонанса". Это накладывает дополнительные требования к конструкции гидродемпфера втулки НВ. На рис. 4.15 показана конструкция гидравлического демпфера втулки НВ вертолета Ка-26.

Корпус демпфера 5 имеет цилиндрическую форму и изготовлен из сплава АК-6. В теле корпуса имеются каналы 8, 12 и 23 для перетекания жидкости. На боковых поверхностях корпуса имеются две цапфы 10, с помощью которых гидродемпфер устанавливается на кронштейне пальца осевого шарнира втулки НВ. В корпусе 5 имеется также отверстие под шток 11 с бронзо-

выми втулками и уплотнением. Корпус демпфера герметически закрывается крышкой 4.

Для регулирования гидравлического сопротивления перетекания жидкости из полости в полость на корпусе 5 установлена втулка 14 дросселя, в которую ввернута дроссельная игла 13. Шток 11 выполнен из стали 30ХГСА и имеет в средней части буртик, на который фиксируется поршень 16. Шток 11 соединяется при помощи наконечника 2 с шарнирным подшипником 1 с вертикальным ограничителем втулки НВ. Шток загерметизирован резиновым чехлом. Втулка 3 и стакан 15 являются ограничителями хода штока.

Поршень 16 демпфера изготовлен из стали 30ХГСА и выполнен из двух половин, скрепленных винтами. Поршень по ободу имеет канавку для уплотнительных резинового и двух тефлоновых колец. В поршне сделаны четыре отверстия 17, в которые установлены перегрузочные клапаны 21 (по два клапана с каждой стороны).

Изменение температуры жидкости в процессе работы приводит к изменению объема жидкости в демпфере. Для учета этого в конструкции демпфера предусмотрен компенсатор, который также служит для пополнения жидкостью полости цилиндра 18 при утечках.

При колебаниях лопасти в плоскости вращения НВ корпус демпфера надвигается на шток 11. Жидкость, вытесняемая поршнем 16, перетекает по каналам 12 и 8 из одной полости цилиндра в другую. Сопротивление перетекания жидкости по каналам и через задросселированное отверстие создает на штоке усилие сопротивления движению штока 11 демпфера, чем создается демпфирующий момент. Часть жидкости через канал 22 поступает в полость коробки компенсатора.

Если скорость перемещения штока 11 демпфера станет таким, что давление в полостях цилиндра превысит определенную величину, эквивалентную 160-180 кгс, соответствующие два перегрузочных клапана 21 открываются и перепускают жидкость из полости цилиндра 18 с высоким давлением в полость с низким давлением.

4.5 Маятниковые гасители колебаний несущего винта вертолета

На современных вертолетах особенно остро встала проблема гашения колебаний и вибраций фюзеляжа до комфортного уровня. Источником вибраций является НВ. Существенно снизить уровень возникающих вибраций, особенно на режиме висения, можно применяя в конструкции втулки НВ маятниковых гасителей колебаний.

Бифилярный маятниковый гаситель колебаний

Это устройство непосредственно противодействует колебаниям, возникающим в плоскости вращения НВ. Маятник 7 (рис. 4.16) демпфирует, когда частота его собственных колебаний ω_M близка к частоте действующих на втулку сил кратной угловой скорости ω вращения втулки НВ.

$$\omega_M = \omega \sqrt{\frac{R}{r}}$$

где: R – расстояние от оси подвеса маятника до оси вращения НВ, r – длина маятника.

Мощность демпфирования маятникового гасителя можно регулировать, варьируя параметры R, r и затяжкой настроечного болта, что позволяет существенно снизить вес устройства. На рис. 4.17 показан бифилярный маятниковый гаситель колебаний вертолета Ми-8, который состоит из кронштейна 15, ступицы 3 и пяти маятников 7.

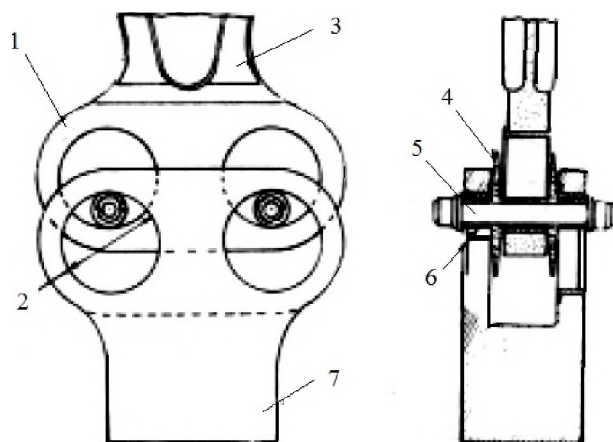


Рис. 4.16 Схема и компоновка бифилярного маятникового гасителя колебаний [26]:

1-монтажное кольцо, 2-диаметр отверстия в маятнике, 3-опорный кронштейн, 4-прокладка, 5-настроечный болт, 6-втулка, 7-маятник.

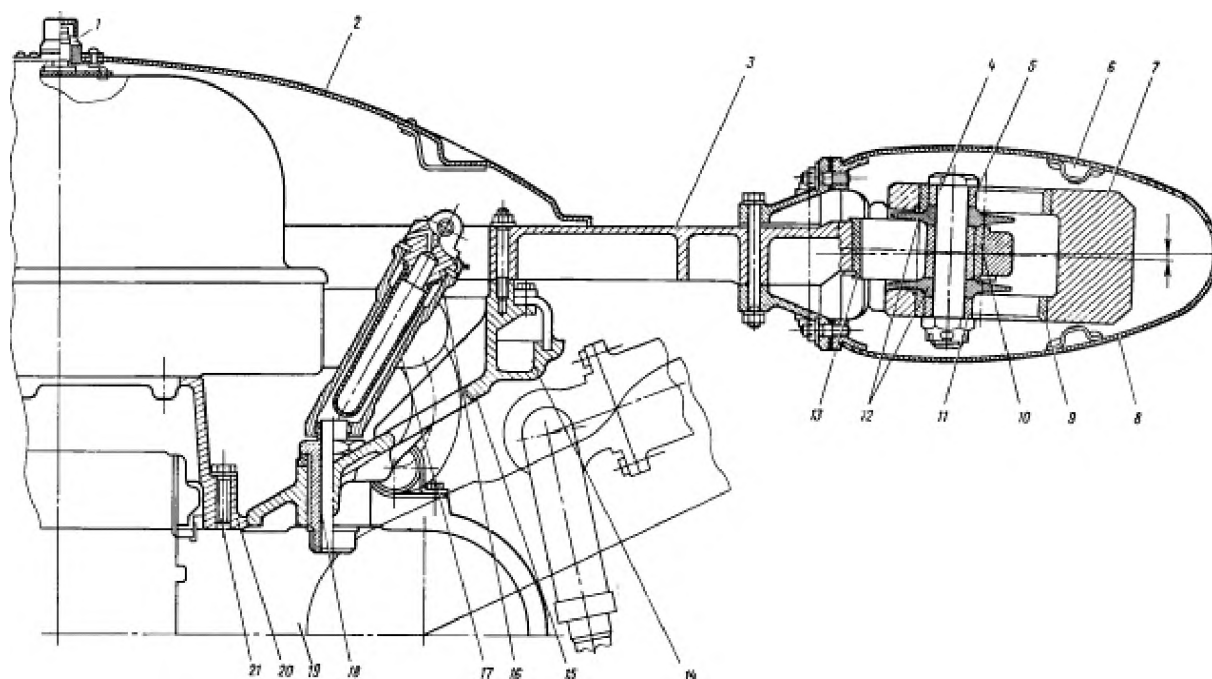


Рис. 4.17 Конструкция бифилярного маятникового гасителя колебаний вертолета Ми-8 [8]:

1-колпачок, 2-металлический зонт, 3-ступица, 4-болт, 5,10,11-ролики, 6-ограничители, 7-маятники, 8-обтекатели, 9,13-втулки, 12-специальные шайбы, 14-компенсационный бачок гидродемпфера, 15-кронштейн, 16-пробки, 17-заливная горловина, 18-полые пальцы, 19-втулка НВ, 20-переходник, 21-болты.

К верхнему фланцу кронштейна с помощью шпилек крепится ступица 3 виброгасителя. Ступица 3 имеет пять рукавов с отверстиями по концам для монтажа на бифилярных подвесках пяти маятников 7. Каждая бифилярная подвеска представляет собой две роликовые связи, свободно посаженные в отверстия маятника и рукава ступицы. Снаружи подвеска с маятником закрывается обтекателем 8. Для предотвращения повреждения обтекателя при работе маятника внутри установлены ограничители 6. Виброгаситель к втулке НВ 19 крепят специальными полыми пальцами 18, ввернутыми в отверстия корпуса втулки.

При вращении НВ происходит плавная раскачка маятников. Возникающие при этом инерциальные силы масс маятников оказывают сопротивление переменным нагрузкам в плоскости вращения, действующим на втулку НВ со стороны лопастей. Подбор массы маятников и угла их установки ($36^0 \pm 30'$) по отношению к оси рукавов втулки НВ приводит к тому, что внешние переменные по величине и направлению силы, вызывающие вибрации, уравниваются за счет динамической реакции маятников виброгасителя.

Маятниковый виброгаситель колебаний в плоскости тяги НВ

Это устройство (рис. 4.18 - 4.19) состоит из шарообразных грузов, которые колеблются на поводках длиной l в противофазе колебаний лопасти в плоскости ее взмаха относительно ГШ. Крепится виброгаситель на комлевой части лопасти на расстоянии h . Варьируя параметрами l, h можно добиться режима, при котором колебания лопасти становятся минимальными. Применение маятникового виброгасителя позволяет снизить колебания лопасти в 1,5 раза.

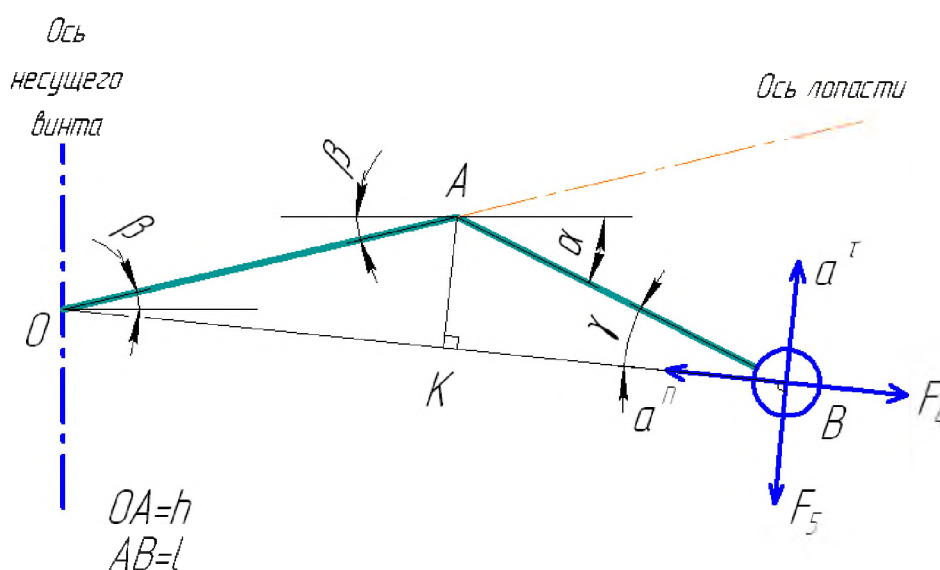


Рис. 4.18 Схема движения виброгасителя относительно оси воображаемого ГШ в точке O.

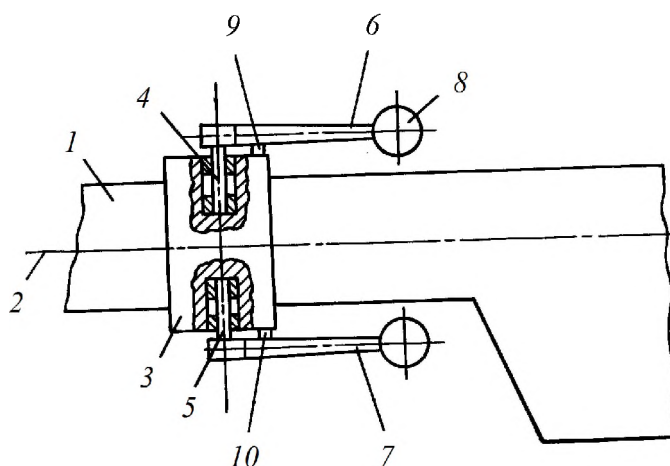


Рис. 4.19 Маятниковый виброгаситель колебаний НВ вертолета Ка-32 [19]:

1- лопасть НВ, 2-ось лопасти., 4,5-оси поводков, 6,7-поводки, 8-грузы, 9,10-ограничители.

4.6 Токосъемник ПОС лопастей несущего винта вертолета

Противообледенительная система (ПОС) лопастей предназначена для обогрева передней кромки лопастей с целью предотвращения образования льда при полете вертолета в сложных метеоусловиях. На большинстве современных вертолетов применяют электротепловой тип ПОС из-за большей эффективности и меньшего веса. В связи с этим важным элементом конструкции является токосъемник ПОС, который крепится сверху втулки НВ и осуществляет передачу тока через подвижные медные контакты на кабели лопастей, закрепленные на подвижной тарелке корпуса втулки НВ.

Токосъемник несущего винта (см. рис. 4.20) вертолета Ми-24 обеспечивает передачу электроэнергии от бортовой сети переменного тока к нагревательным элементам лопастей при вращении несущего винта.

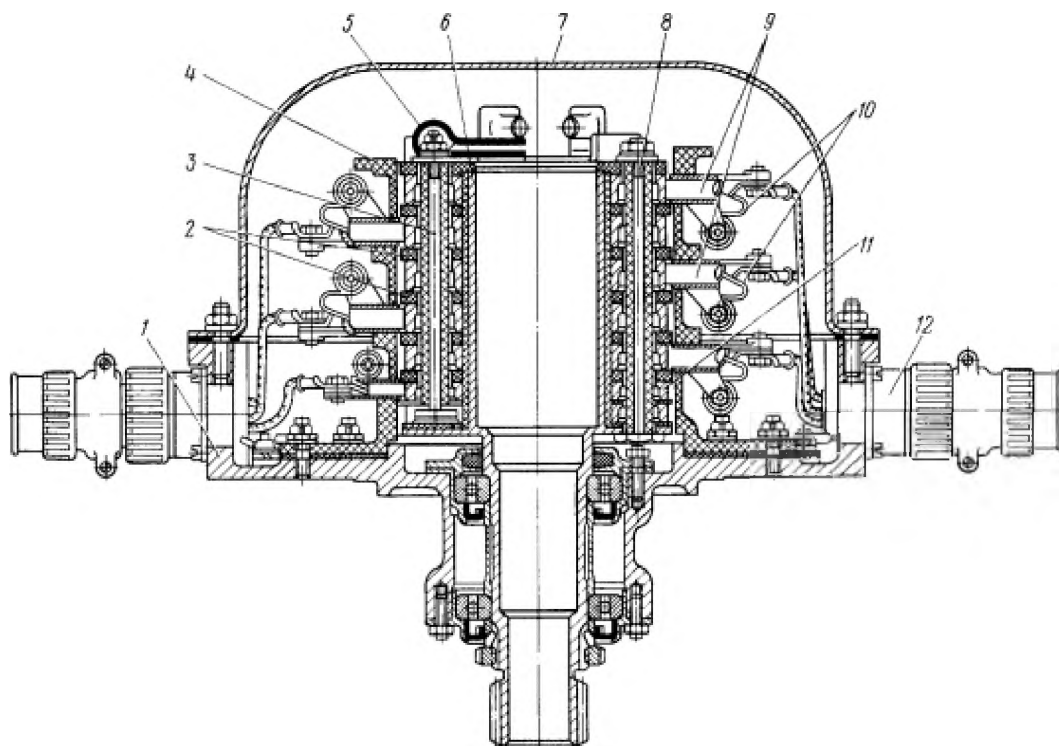


Рис. 4.20 Токосъемник ПОС втулки несущего винта вертолета Ми-24А [13]:

1- корпус щеткодержателя; 2- изоляционные кольца; 3- контактный болт; 4- щеточная колодка; 5- чехол; 6- коллектор; 7- крышка; 8- стяжной болт; 9- щетки; 10- спиральные пружины; 11- контактное кольцо; 12- штепсельный разъем.

Токосъемник состоит из коллектора 6, корпуса щеткодержателя 7, щеточных колодок 4, щеток 9, контактных 11 и изоляционных 2 колец. На корпусе щеткодержателя, отлитом из алюминиевого сплава, установлены четыре текстолитовые щеточные колодки 4, на двух из которых закреплены по четыре щетки 9 с нажимными спиральными пружинами 10, а на двух других - по три таких же щетки. От щеток электрические провода припаяны к штырькам пяти штепсельных разъемов 12, установленных на корпусе щеткодержателя. Щеткодержатель токосъемника закреплен с помощью шпилек на фланце бачка гидродемпферов втулки несущего винта и вращается вместе с втулкой.

Корпус коллектора 6 установлен в корпусе щеткодержателя на двух шарикоподшипниках. Внутренние кольца подшипников напрессованы на хвостовик корпуса коллектора и закреплены гайкой, накрученной снизу на хвостовик. Наружные кольца подшипников зафиксированы в корпусе щеткодержателя с помощью верхней и нижней крышек, которые на шпильках крепятся к корпусу щеткодержателя. Внутренняя полость подшипников заполнена смазкой и уплотнена двумя резиновыми армированными манжетами и фетровым сальником, установленными в крышках.

Сверху на цилиндрической части корпуса коллектора установлено семь контактных колец 11. Контактные кольца изолированы от корпуса коллектора и друг от друга изоляционными кольцами 2 и внутренней изоляционной текстолитовой втулкой, напрессованной на верхнюю наружную часть корпуса коллектора. Контактные кольца закреплены на корпусе коллектора стяжными болтами 8. От каждого контактного кольца на верхнее изоляционное кольцо выведен контактный болт 3. Болты 8 и 3 установлены внутри изоляционных текстолитовых втулок. Сверху к контактным болтам присоединены наконечники проводов жгута, идущего внутри полого стержня от контактов сети переменного тока и закрытого чехлом 5.

Полый стержень проходит внутри вала несущего винта и вертикального вала главного редуктора. На концах он имеет две шлицевые втулки. Нижней шлицевой втулкой стержень соединен с шлицевой муфтой, закрепленной на

шпильках на поддоне главного редуктора, которая удерживает стержень от вращения. Верхняя втулка полого стержня соединяет его с помощью шлиц с хвостовиком корпуса коллектора.

От штепсельных разъемов щеткодержателя к штепсельным разъемам лопастей несущего винта электроэнергия передается по жгутам электрических проводов. Каждый жгут состоит из семи проводов, заключенных в дюритовые шланги, и крепится хомутами на втулке несущего винта у вертикальных шарниров и на одном из болтов крепления лопастей к корпусам осевых шарниров. Резиновые чехлы, установленные на штепсельных разъемах, предохраняют их от попадания влаги и пыли.

Токосъемник сверху закрыт крышкой 7, которая крепится на шпильках к корпусу щеткодержателя и защищает токосъемник от вредного влияния атмосферных осадков и пыли, находящейся в воздухе.

Токосъемник (рис. 4.21) рулевого винта вертолета Ми-24 также обеспечивает передачу электроэнергии от бортовой сети переменного тока на нагревательные элементы лопастей рулевого винта.

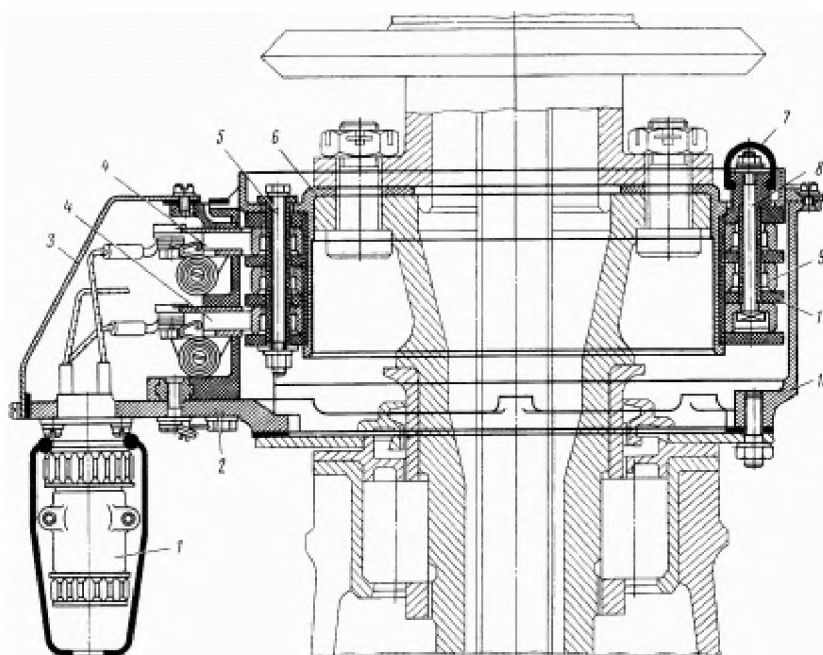


Рис. 4.21 Токосъемник ПОС втулки рулевого винта вертолета Ми-24А [13]:

1- штепсельный разъем; 2- щеточная колодка; 3- крышка; 4- угольные щетки; 5- стяжной болт; 6- корпус; 7- чехол; 8- контактный болт; 9- контактное кольцо; 10- корпус щеткодержателя; 11- изоляционное кольцо.

Основными частями токосъемника являются коллектор и щеткодержатель. Коллектор состоит из стального корпуса 6, имеющего форму стакана, на котором стяжными болтами 5 закреплены три контактных кольца 9, изолированных один от другого, а также от корпуса коллектора и стяжных болтов изоляционными втулками и кольцами П. От каждого контактного кольца на верхнее изоляционное кольцо выведены по три контактных болта 8, закрытых чехлами 7. Корпус коллектора имеет фланец, которым он крепится на ведомом валу хвостового редуктора теми же болтами, что и втулка рулевого винта.

Корпус 10 щеткодержателя отлит из алюминиевого сплава и представляет собой стакан с фланцем для крепления к картеру хвостового редуктора. На корпусе имеется наружная площадка, на которой установлены штепсельный разъем 1 и текстолитовая щеточная колодка 2 с угольными щетками 4, которые постоянно прижимаются к контактным кольцам коллектора спиральными пружинами. Штепсельный разъем, щеточная колодка, щетки и контактные кольца закрыты крышкой 3. Для регулировки положения щеток относительно контактных колец между фланцами корпуса щеткодержателя и картера редуктора, а также щеточной колодкой и площадкой корпуса щеткодержателя устанавливают регулировочные прокладки.

Вопросы для самопроверки

1. Назначение и нагрузки, приходящие на втулку несущего (рулевого) винта.
2. Типы конструкции втулок несущего (рулевого) винта вертолетов.
3. Конструкция классической шарнирной втулки несущего винта (НВ).
4. Конструкция бесшарнирной втулки НВ (по указанию преподавателя).
5. Особенности конструкции жесткой втулки несущего винта.
6. Особенности конструкции и работы втулки Х-образного рулевого винта.
7. Конструкция втулки рулевого винта типа "винт в кольце".
8. Конструкция и работа гидродемпфера вертикального шарнира втулки НВ.
9. Конструкция и работа центробежного ограничителя свеса лопастей НВ.
10. Маятниковый гаситель колебаний: конструкция и работа.
11. Применение полимерных композиционных материалов (ПКМ) в конструкции втулок НВ вертолета. Перечислить достоинства и недостатки.

Задания для самостоятельной работы

1. Начертить схему шарнирной втулки несущего винта вертолета.
2. Начертить схему и объяснить работу эластомерного шарнира.
3. Начертить схему втулки несущего винта типа Starflax .
4. Начертить гидродемпфер вертикального шарнира втулки НВ, объяснить его конструкцию и работу.
5. Начертить центробежного ограничителя свеса лопастей НВ, объяснить его конструкцию и работу.
6. Начертить втулку Х-образного рулевого винта вертолета.
7. Дать анализ конструкции жестких втулок НВ (по указанию преподавателя).
8. Дать анализ эффективности внедрения полимерных композиционных материалов (ПКМ) в конструкцию втулки НВ вертолета.

Список использованной литературы:

1. Авиационные правила. Часть 27. Нормы летной годности винтокрылых аппаратов нормальной категории. М: МАК, 1998. –280 с.
2. *Александрин Ю.С., Маслов Л.А., Тимохин В.П.* Особенности проектирования и конструкции высокоресурсных пластинчатых торсионов для втулок несущих и рулевых винтов вертолетов. / Труды IV Форума Российского вертол. общ-ва. – М: Изд-во РВО, 2000.С.П-21-37.
3. *Богданов Ю.С., Михеев Р.А., Скулков Д.Д.* Конструкция вертолетов. М.: Машиностроение. , 1990. – 272 с.
4. *Братухин И.П.* Проектирование и конструкции вертолетов. М: Оборонгиз, 1955. – 360 с.
5. *Вахитов А.Ф.* Вертолет Ка-26. М.: Транспорт 1973. –168 с.
6. *Далин В.Н.* Конструкция вертолёттов.– М.: Машиностроение, 1971. – 269 с.
7. *Далин В.Н., Михеев С.В.* Конструкция вертолёттов. М.: МАИ, 2001.– 352 с.
8. *Данилов В.А., Занько В.М., Калинин Н.П.* и др. Вертолет Ми-8МТВ. М.: Транспорт. , 1995. – 295 с.
9. *Дудник В.В.* Конструкция вертолетов. - Ростов н/Д: Издательский дом ИУИ АП, 2005. – 158 с.
10. *Завалов О.А.* Конструкция вертолетов. / под ред. чл.-корр. РАН, проф. С.В. Михеева.– М: Издательство МАИ ,2004.– 265 с.
11. *Завалов О.А.* Конструкция несущих и рулевых винтов вертолетов. (уч. пособие МАИ к курсовому и дипломному проектированию) - 2001. – 72 С.
12. Ка-226А руководство по технической эксплуатации. 2005. – 216 с.
13. Ми-24А руководство по технической эксплуатации. 1988. – 346 с.
14. Ми-171 руководство по технической эксплуатации. 2012. – 345 с.
15. Конструкция и прочность самолетов и вертолетов/ под общ. ред. *Миртова К.Д., Черненко Ж.С.* М.: Транспорт. , 1972. – 440 с.
16. Конструкция вертолета “Ансат-У” и его систем. Учебно-методическое пособие. Казань: КВЗ , 2006. – 285 с.

17. *Курочкин Ф.П.* Конструирование винтов, силовых установок и приводов вертолета. М.: МАИ, 1980. – 138 с.
18. Легкий вертолет Ми-34С. Проспект. М: МВЗ им. М.Л. Миля, 2005. –56 с.
19. *Михеев С.В.* Прикладная механика в вертолетостроении. – М: Изд. Альтекс , 2003. –264 с.
20. *Михеев С.В., Строганов Г.Б. и др.* Керамические и композиционные материалы в авиационной технике. – М: Изд. Альтекс , 2002. –276 с.
21. *Михеев Р.А.* Прочность вертолетов.– М: Машиностроение,1984.–280 с.
22. *Михеев В.Р.* Московский вертолетный завод им. М.Л.Миля. – М: Изд-во Полигон-пресс, 2007. – 319 с.
23. ОКБ Н.И. Камова. Т.2. – М: Изд-во Полигон-пресс, 2001. – 360 с.
24. *Осмоловский Р.Ф.* Концепция, выбор конструкции и расчет перспективной втулки несущего винта фирмы “Камов”. / Труды X Форума Российского вертол. общ-ва.Т.2 – М: Изд-во РВО, 2012.– IV с.89-101.
25. *Романчук В.Н., Красильников В.В.* Вертолет Ми-2. М: Транспорт.1972. – 250 с.
26. *Ружицкий Е.И.* Альбом конструкций втулок несущих винтов вертолетов. – М.: МАИ, 1980. – 39 с.
27. *Сохань О.Н., Скулков Д.Д.* Втулки и лопасти несущих и рулевых винтов вертолетов. М: МАИ. 1985. –276 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.

1. Цель, содержание и организация проведения лабораторной работы.....	3
2. Общие требования и нагрузки, действующие на элементы втулки несущего и рулевого винта при эксплуатации вертолета. Назначение, условия работы различных схем втулок винтов вертолетов.....	4
2.1 Общие требования ко втулкам несущего и рулевого винтов.....	4
2.2 Нагрузки на втулку несущего винта.....	5
2.3 Нагрузки на втулку рулевого винта.....	7
2.4 Типы и условия работы втулок несущих винтов различных схем вертолетов.....	8
3. Конструкция втулок винтов вертолетов.....	25
3.1 Шарнирная втулка несущего винта вертолета.....	25
3.2 Бесшарнирные втулки несущего винта вертолета.....	37
3.2.1 Втулка несущего винта с пластинчатым V-образным торсионом.....	38
3.2.2 Втулка несущего винта с эластомерным подшипником.....	47
3.2.3 Втулка несущего винта с упругим элементом типа Starflax.....	54
3.2.4 Втулка несущего винта с упругими торсионами балочного типа.....	56
3.3 Жесткие втулки несущего винта вертолета.....	61
3.3.1 Жесткие втулки с пластинчатым торсионом осевого шарнира.....	62
3.3.2 Жесткие втулки с проволочным торсионом осевого шарнира.....	63
3.4 Основные типы втулок рулевых винтов вертолетов.....	64
3.5 Втулка рулевого винта типа "винт в кольце".....	76
4. Элементы и агрегаты втулок несущих и рулевых винтов вертолетов, особенности их конструкции и работы..	79
4.1 Элементы втулок несущих винтов.....	79

4.2	Центробежные ограничители свеса.....	81
4.3	Упругие демпферы колебаний лопастей относительно вертикаль- ного шарнира.....	84
4.4	Гидравлические демпферы колебаний лопастей относительно вертикального шарнира.....	88
4.5	Маятниковые гасители колебаний несущего винта вертолета.....	93
4.6	Токоъемник ПОС лопастей несущего винта вертолета.....	96

Вопросы для самопроверки

Задания для самостоятельной работы

Список использованной литературы

Оглавление