

## **Проектирование и параметрическое моделирование трехосевой подвески видеокамеры для беспилотного вертолета**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»*

Проанализированы конструктивные особенности существующих подвесок видеокамер аналогов БПВ. Разработана кинематическая схема подвески. Проведены расчеты, с определением геометрических характеристик элементов конструкции подвески видеокамеры. Выполнено параметрическое моделирование трехосевой подвески видеокамеры. Созданы аналитические эталоны элементов конструкции подвески видеокамеры, проведен инженерный анализа узлов, оценена масса конструкции.

**Ключевые слова:** трехосевая подвеска, гироскоп, видеокамера, сервопривод, зубчатременная передача, подшипник, демпфер, аналитический эталон.

Одной из задач легких беспилотных вертолетов (БПВ) является мониторинг местности и объектов с помощью фото- или видеокамер. Для расширения возможности решения поставленных задач необходимо обеспечить вращение видеокамеры, а также снизить вибрации, идущие от БПВ.

Главное преимущество БПВ – зависание в воздухе и посадка на ограниченную и неподготовленную площадку.

Функциональная подвеска, которая смогла бы обеспечить поворот фото- или видеокамеры вокруг трех осей, расширила бы возможности БПВ при выполнении задач, связанных с мониторингом объектов и местности.

Проведен анализ БПВ, а также их подвесок. Для анализа БПВ аналогов было взято два вертолета: ZALA 421-06 и ZALA 421-02X, подвески видеокамер которых имеют одинаковое назначение с проектируемой подвеской.

Беспилотный летательный аппарат ZALA 421-06 — вертолетного типа (рис. 1). Этот беспилотный вертолет используют для решения задач в опасных для человека зонах. Применение ZALA 421-06 возможно и в других характерных для БЛА целях.

Подвеска видеокамеры, установленная на БПЛА ZALA 421-06, стабилизирована по осям  $ou$  и  $oz$ : угол поворота вокруг вертикальной оси ( $ou$ ):  $\pm 180^\circ$ ; угол поворота вокруг поперечной оси ( $oz$ ):  $-20 \dots -140^\circ$ .

ZALA 421-02X - многофункциональный беспилотный вертолет (рис. 2). Его применяют в качестве робототехнического средства, способного выполнять технологические операции в опасных для человека зонах (инженерная, радиационная, химическая и биологическая разведка). Возможен также контроль трубопроводов на газовых, химических и нефтяных магистралях в целях предупреждения аварий, охраны лесов и рыбоохраны, ледовой разведки, наблюдение за движением на дорогах.

На БПЛА ZALA 421-02X установлена подвеска видеокамеры, стабилизированная по осям  $ou$  и  $oz$ : угол поворота вокруг вертикальной оси ( $ou$ ):  $\pm 60^\circ$ ; угол поворота вокруг поперечной оси ( $oz$ ):  $-10 \dots +40^\circ$ .



Рис. 1. ZALA 421-06

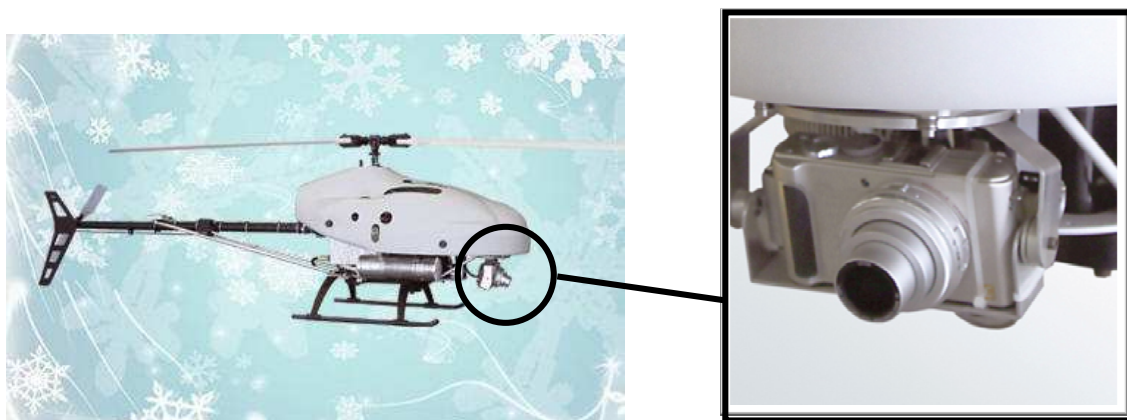


Рис. 2. ZALA 421-02X

Анализ СБПВ и подвесок-аналогов, устанавливаемых на СБПВ данного типа, показал, что существующие прототипы не полностью удовлетворяют требованиям, которые формулируются исходя из поставленных для СБПВ задач.

В основном это связано с тем, что либо конструкция таких подвесок не позволяет поворачивать фото- или видеокамеру относительно самого СБПВ, либо поворот ограничен только одной осью вращения, либо угол поворота не обеспечивает необходимую область съемки.

#### **Исходные данные для проектирования. Увязка подвески видеокамеры с беспилотным вертолетом**

Подвеска спроектирована для БПВ вертолетного типа взлетной массой 35 кг и дальностью полета 40 км (рис. 3).



Рис. 3. Беспилотный вертолет

БПВ предназначен для работы в опасных для человека зонах, а также для мониторинга объектов и местности.

БПВ имеет одновинтовую схему с рулевым винтом, шасси ползковое.

Тактико-технические характеристики БПВ:

- максимальная скорость полета  $V_{\max} = 80$  км/ч;
- крейсерская скорость полета  $V_{\text{кр}} = 70$  км/ч;
- скороподъемность  $V_y = 4$  м/с;
- максимальная высота полета  $H_{\max} = 3$  км;
- крейсерская высота полета  $H_{\text{кр}} = 1,5$  км;
- радиус действия  $L = 40$  км;
- взлетная масса  $m = 35$  кг;
- масса полезной нагрузки  $m_{\text{п.н.}} = 14$  кг.

Проектирование БПВ, выбор схемы, разработка КСС, расчет аэродинамических характеристик, а также выбор основных геометрических и массовых параметров осуществлялось с учетом наличия подвески фото- и видеокамеры.

Исходными данными для проектирования является следующее: габаритные размеры и масса устанавливаемой фото- или видеокамеры, схема и конструкция БПВ.

Подвеску видеокамеры крепят к носовой части БПВ, где предусмотрены силовые элементы для навески кронштейнов подвески видеокамеры (рис. 4).

Кронштейны навески выполнены регулируемые для учета поворота подвески видеокамеры и для обеспечения центровки БПВ.

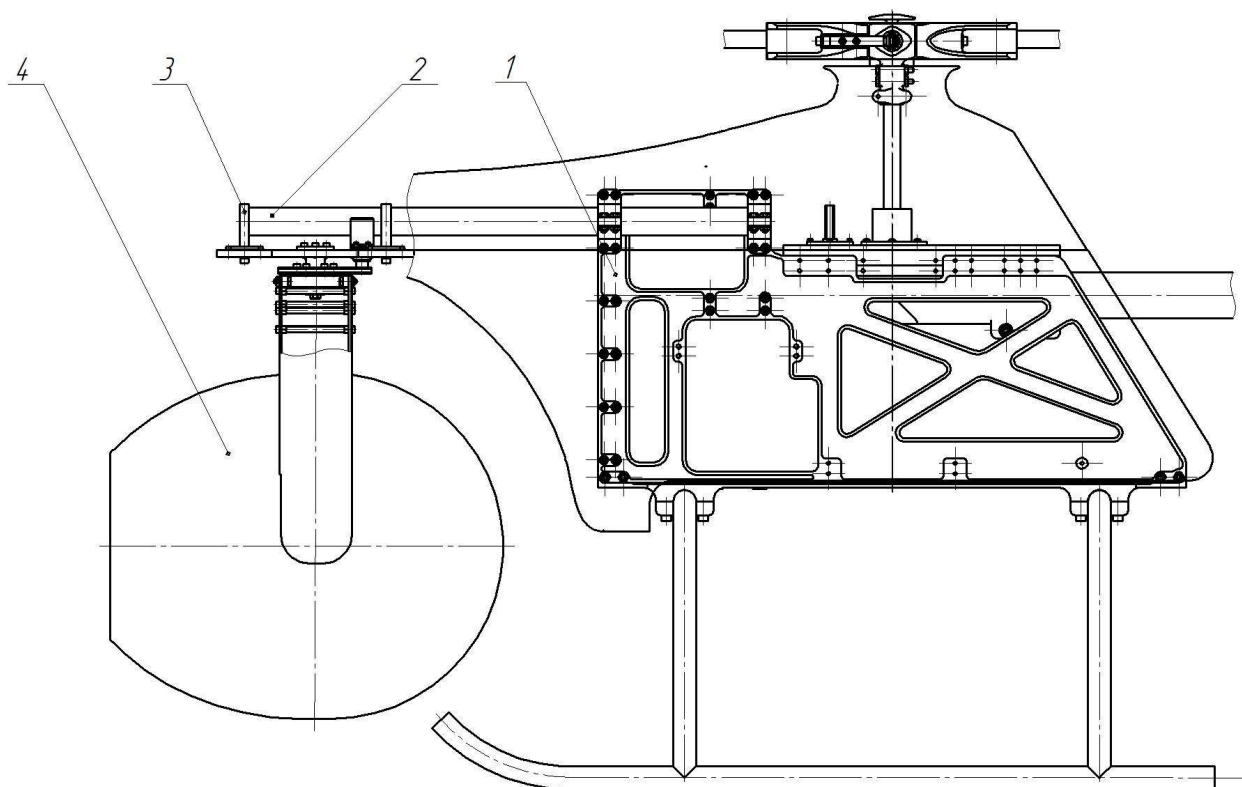


Рис. 4. Крепление подвески видеокамеры к БПЛА:  
1 - корпус БПЛА; 2 - силовые элементы для крепления подвески;  
3 - кронштейны крепления подвески; 4 - подвеска видеокамеры

#### **Концепция подвески видеокамеры. Требования, предъявляемые к подвеске видеокамеры**

Подвеска видеокамеры с помощью трехстепенного гироскопа обеспечивает трехосевую стабилизацию камеры, которая всегда направлена на заданный объект независимо от положения БПВ в пространстве во время полета. Гироскоп установлен на борту самого БПВ и входит в состав его оборудования.

Источником питания для сервоприводов подвески служат аккумуляторы, которые находятся на БПВ.

Подвеску крепят к каркасу БПЛА с помощью демпферов, которые устраняют вибрацию, идущую от двигателя и несущего винта БПВ.

Требования, предъявляемые к проектируемой подвеске видеокамеры:

- крепление видеокамеры должно предусматривать крепление камеры разных типов, размеров и масс;
- элементы конструкции должны выдерживать заданные расчетные нагрузки в полета, не деформируясь;
- в конструкции подвески должны быть предусмотрены обтекатели для уменьшения лобового сопротивления;
- конструкция подвески должна иметь минимальную массу.

### Кинематическая схема и принцип действия, кинематический расчет и объемная компоновка подвески видеокамеры

Поворот вокруг вертикальной оси осуществляется с помощью наружного силового кольца, поворот вокруг поперечной оси – с помощью центрального кольца, поворот вокруг продольной оси – с помощью внутреннего кольца.

Для привода подвески по трем осям используют три сервопривода (один на каждый канал) Align DS610 Digital Servo K10425A. Передача крутящего момента осуществляется с помощью зубчатых передач.

Кинематическая схема подвески показана на рис. 5.

Исходные данные для кинематического расчета:

- число оборотов сервопривода – 125 об/мин;
- требуемая частота вращения внутреннего кольца – 10...12 об/мин;
- требуемая частота вращения центрального кольца – 25...27 об/мин;
- требуемая частота вращения наружного кольца – 25...27 об/мин;

Необходимые передаточные отношения определены :

$$i_1 = \frac{125}{10} = 12,5; \quad i_{2,3} = \frac{125}{28} = 4,469.$$

Шестерня сервопривода имеет делительный диаметр 18 мм, модуль 1, число зубьев - 18, следовательно, по передаточным отношениям подберем делительные диаметры зубчатых колес:

$$D_1 = d \cdot i_1 = 18 \cdot 12,5 = 225 \text{ мм}; \quad D_{2,3} = d \cdot i_{2,3} = 18 \cdot 4,469 = 80 \text{ мм}.$$

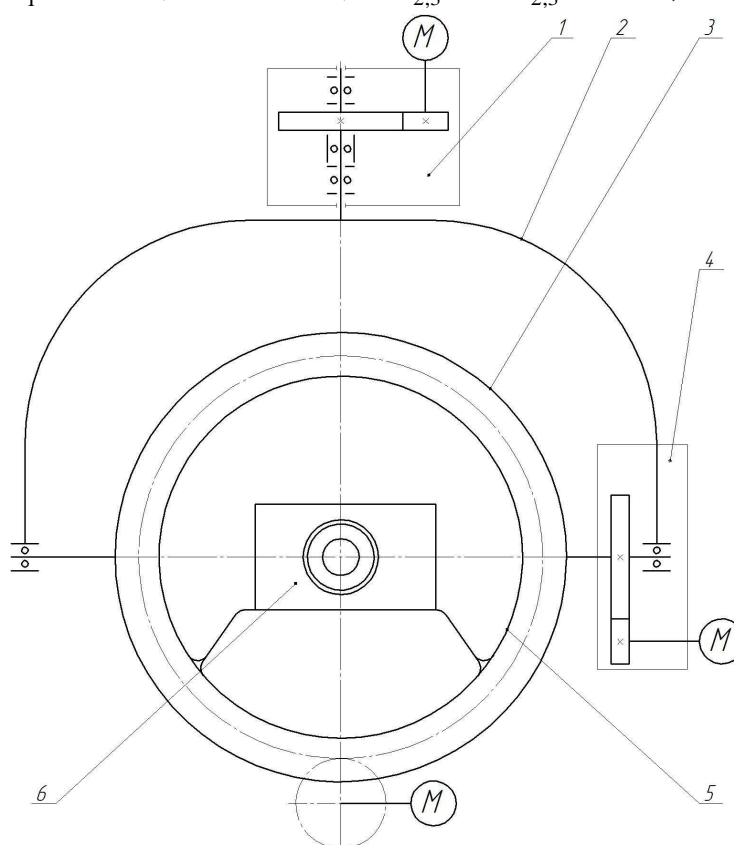


Рис. 5. Кинематическая схема подвески видеокамеры:  
1 – опора полукольца; 2 – полукольцо; 3 – внешнее кольцо; 4 – опора внешнего кольца; 5 – внутреннее кольцо; 6 – камера

## Определение нагрузок, действующих на элементы конструкции подвески Выбор материалов для элементов конструкции подвески

Расчетную нагрузку определим по формуле

$$P_{расч} = m_{пн} \cdot f \cdot n \cdot g = 14 \cdot 1,5 \cdot 8 = 14 \cdot 1,5 \cdot 8 \cdot 9,81 = 1648,08 \text{ Н}$$

где  $m_{пн}$  – масса полезной нагрузки (камеры);

$n$  – коэффициент перегрузки,  $n=8$ ;

$f$  – коэффициент безопасности,  $f=1,5$ .

Для элементов конструкции подвески видеокамеры выбираем следующие материалы: полукольцо, внешнее и внутреннее кольца, а также кронштейны навески и крепление камеры изготавливают из материала Д16Т, валы – из стали 40Х.

## Проектировочный расчет геометрических параметров конструктивно-силовых элементов подвески

На рис. 6, 7 и 8 показаны конструкция подвески (масса полезной нагрузки 14 кг), узла навески внешнего кольца и опоры полукольца.

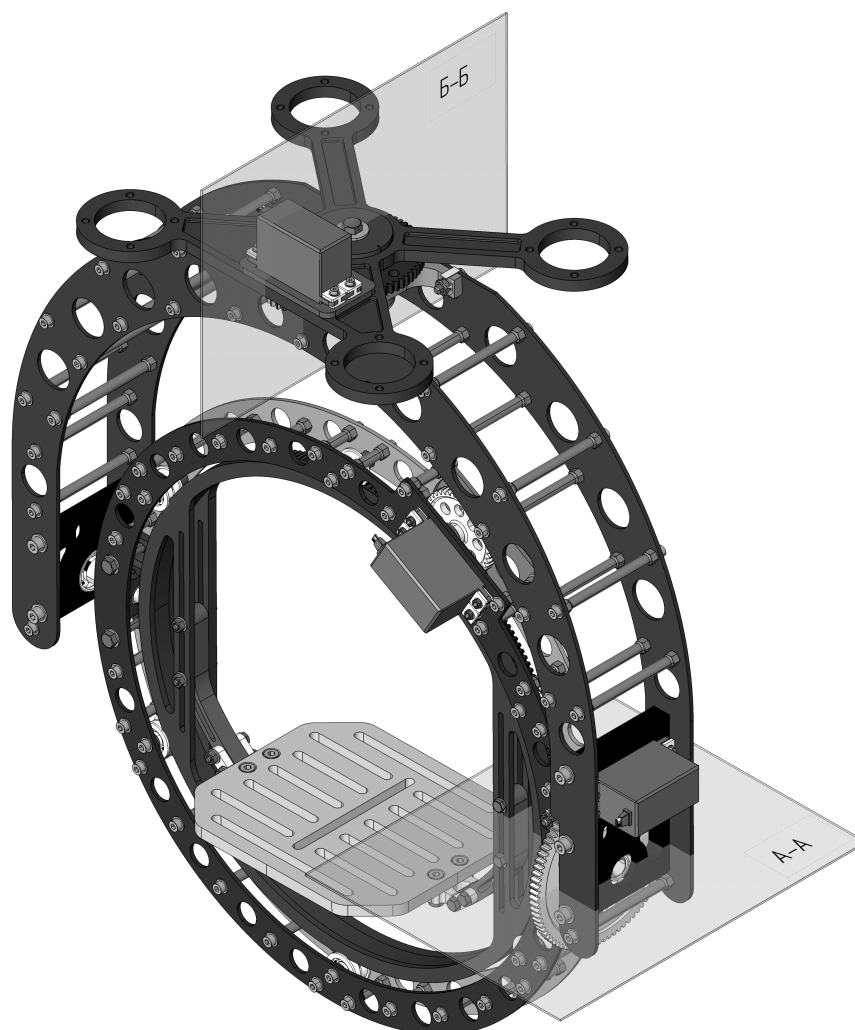


Рис. 8. Конструкция подвески видеокамеры

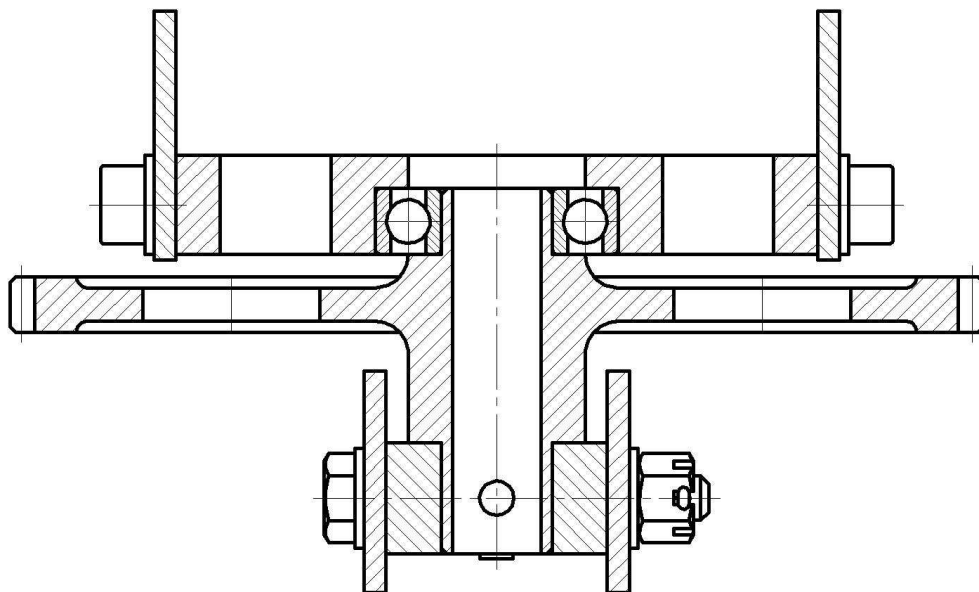


Рис. 8. Конструкция узла навески внешнего кольца (сечение А - А)

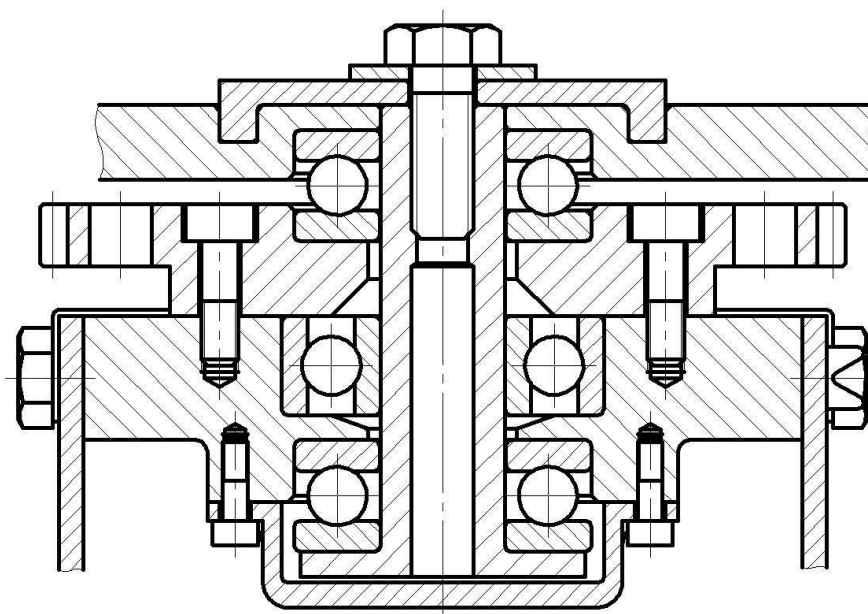


Рис. 9. Конструкция опоры полукольца (сечение Б - Б)

По результатам расчетов выполнены аналитические эталоны всех деталей и узлов подвески, оценена масса конструкции, сделан сборочный чертеж в CAD/CAM/CAE системе CATIA V5 R21 (рис. 10).

Масса подвески составляет 1,8 кг.

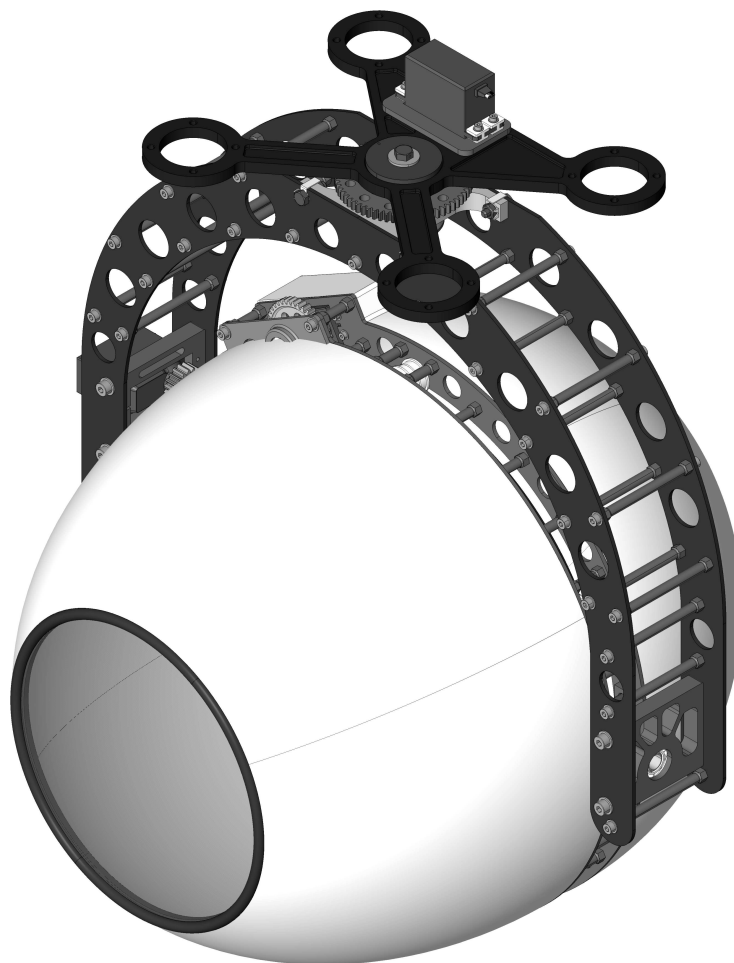


Рис. 10. Сборочная модель подвески видеокамеры

### **Выводы**

Рассмотрены существующие подвески видеокамер, проведен их анализ. Спроектирована трехосевая гиросtabilизационная подвеска видеокамеры. Проведен кинематический, проектировочный расчет. Получены основные геометрические и массовые параметры деталей и узлов конструкции подвески.

По заданным нагрузкам и конструктивным соображениям подобраны стандартные крепежные изделия и подшипники качения.

Разработана конструкция подвески.

Выполнен сборочный чертеж подвески видеокамеры.

Созданы аналитические эталоны всех деталей и узлов подвески видеокамеры.

### **Список литературы**

1. Гребеников, А.Г. Методология интегрированного проектирования и моделирования сборных самолетных конструкций [текст] / А.Г. Гребеников. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2006. – 532 с.



2. Гребеников, А.Г. Методология интегрированного проектирования и моделирования самолетных конструкций [текст] / А.Г. Гребеников. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2006. – 534 с.
3. Цепляева, Т.П. Методика проектирования механической проводки систем управления самолетов и вертолетов [текст] / Т.П. Цепляева, В.И. Рябков, В.В. Меньшиков – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 1991. – 74 с.
4. Полетучий, А.И. Инженерные расчеты и основы конструирования деталей и механизмов ЛА [текст] / А.И. Полетучий – Х.: ЧФ «Антиква», 2002. – 360 с.
5. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя [текст] / В.И. Анурьев – М.: Машиностроение, 1979-1982. т. 1 – 728 с, т. 2 – 559 с, т. 3 – 557 с.
6. Кривцов, В.С. Соппротивление материалов [текст] / В.С. Кривцов, С.А. Полтарушников. – Х.: «Торнадо», 1999. – 348 с.

**Рецензент:** кандидат технических наук, доцент Е.Т. Василевский  
Государственное предприятие «АНТОНОВ»

Поступила в редакцию 17.12.12

## **Проектування та параметричне моделювання трьохосьової підвіски відеокамери для безпілотного вертольота**

Проаналізовано конструктивні особливості існуючих підвісок відеокамер аналогів БПВ. Розроблено кінематичну схему підвіски. Проведено розрахунки по визначенню геометричних характеристик елементів конструкції підвіски відеокамери. Виконано параметричне моделювання трьохосьової підвіски відеокамери. Створено аналітичні еталони елементів конструкції підвіски відеокамери, проведено інженерний аналіз вузлів, оцінена маса конструкції.

**Ключові слова:** трьохосьова підвіска, гіроскоп, відеокамера, сервопривід, зубчато-ремінна передача, підшипник, демпфер, аналітичний еталон.

## **Designing and parametric modeling of three-axis camera mounting for an unmanned helicopter**

The structural feature of the current camera mountings for the unmanned helicopter were analyzed. A kinematic of the mounting was developed. The computations determination the geometric characteristics of the camera mounting structural members were performed. A parametric modeling of the three-axis camera mounting was implemented. The analytical standards of the camera mounting structural members were developed; an engineering analysis of nodes was carried out and structural mass was estimated.

**Keywords:** three-axis mounting, gyroscope, camera, servo, toothed bell drive, bearing, damper, analytical standard.