

## ОБЗОР МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОКОНУСНОСТИ ЛОПАСТЕЙ НЕСУЩЕГО ВИНТА ВЕРТОЛЕТА

Михаил Владов<sup>1</sup>, Георги Сотиров<sup>2</sup>, Дмитрий Добров<sup>1</sup>, Ангелина Чожгова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Молдова, Кишинев, «Comelpro» SRL,  
e-mail: office@comelpro.com

<sup>2</sup>Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките  
e-mail: gsotirov@space.bas.bg

<sup>3</sup>Техническият Университет- София, филиал Пловдив  
e-mail: ani\_angeliq@abv.bg

**Ключовые слова:** лопасти несущего винта, вертолет

**Резюме:** В статье представлен обзор методов определения соконусности лопастей несущего винта вертолета. Представлены возможности авиастроительных фирм из США, России, Франции а также и предимства и недостатков методов и средств определения несоконусности лопастей несущего винта вертолетов.

## REVIEW OF METHODS FOR HELICOPTER ROTOR BLADES TRACKING

Mihail Vladov<sup>1</sup>, Georgi Sotirov<sup>2</sup>, Dmitrii Dobrov<sup>1</sup>, Angelina Chozhgora<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Moldova, Chisinau  
e-mail: office@comelpro.com

<sup>2</sup>Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences  
e-mail: gsotirov@space.bas.bg

<sup>3</sup>Technical University- Sofia, Plovdiv Branch  
e-mail: ani\_angeliq@abv.bg

**Key words:** rotor blades, helicopter.

**Abstract:** The article provides an overview of methods for rotor blades tracking. There are shown possibilities of companies from the USA, Russia, France as well as advantages and disadvantages of the methods and means of rotor blades tracking.

### 1. Актуальность проблемы

Одним из важнейших вопросов, с которым сталкивается техническое обслуживание вертолетов, является вопрос о трекинге и балансировке винтов. Существующие балансировочные системы используют различные методики, но каждая из них решает одну задачу – уменьшение разрушительных вибраций, генерируемых несущим и рулевым винтом.

В среднем в 70% случаев при балансировке винтов требуется от 2 до 5 испытательных полетов, чтобы добиться снижения уровня вибраций ниже допустимых пределов. Для решения оставшихся 30% случаев нынешние системы не запрограммированы, поэтому иногда может потребоваться более 10 испытательных полетов, замена динамических компонентов, догадок и других дорогостоящих действий для того, чтобы изменить динамический профиль вибрации вертолета.

Из литературы [1,2,3,] известны несколько методов определения несоконусности лопастей несущего винта (НВ) вертолета. Так для определения несоконусности лопастей несущего винта вертолетов типа Ми-8/17/24 согласно [1] используют контактный, так называемый метод «отбития конуса» НВ. На рис.1 представлена фотография, на которой показано приспособление для «отбития конуса» - в торец трубы вставляется скрученный в

трубку ватман, т.н. "факел" (как раз для того, чтобы не бить торец лопасти), по которому, и смотрят отметки от лопастей.



Рис. 1. Фото «отбития конуса» НВ

В [4] также представлены простейшие методы механического отслеживания кистью или флагом.

Второй, бесконтактный метод в котором используют оптические системы измерения несоконусности лопастей НВ. Основными преимуществами оптических систем измерения несоконусности лопастей НВ вертолета является большая точность измерений и регулировки, безопасная эксплуатация и оперативность проведения работ. Однако этот принцип требует установки на одной из лопастей НВ специальной светоотражающей ленты для определения этой лопасти как точки отсчета «первой» лопасти, относительно которой и производится регулировка конуса лопастей НВ. На рис.2 показана приклейка светоотражательной ленты на лопасть вертолета МИ-17.



Рис. 2. Установка светоотражающей ленты на лопасть НВ

В [4] описан так называемый метод зеркала, когда зеркало устанавливается снизу на концах лопасти. Лампой значительной мощности подсвечиваются концы лопастей и их можно увидеть. Другой вариант используется стробоскопический эффект. Лампа-вспышка оператором в кабине направляется на нижнюю сторону лопастей, которые, идентифицируют материалы разных цветов закрепленных на лопастях. Лампа мигает с частотой, равной числу лопастей на оборот ротора. Вследствие стробоскопического эффекта, относительное положение лопастей можно увидеть легче, чем в методе зеркала. Там же изложен простой метод оптического отслеживания на основе диффузного отражения лазерного света. На рис. 3 представлена блок схема и внешний вид практической реализации аппаратуры для проверки несоконусности НВ.

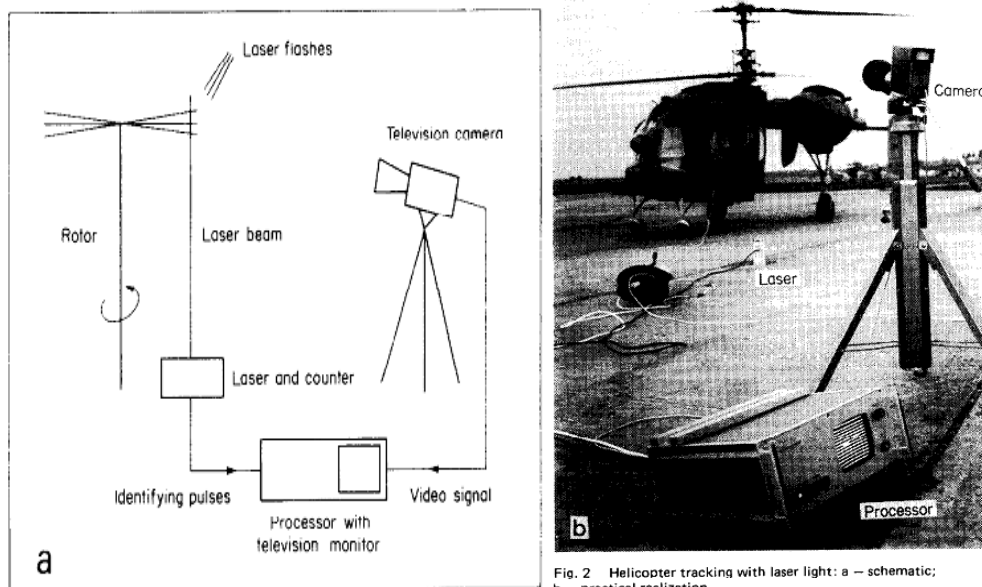


Рис. 3. Блок схема и фото практической реализации аппаратуры для проверки несоконусности НВ

Ниже приведены примеры аппаратуры определения соконусности и балансировки лопастей несущего винта вертолетов с использованием оптических головок - видеокамер, которые связаны с узлами обработки видеосигнала, блоком выделения координат законцовок лопастей, блоком усреднения координат законцовок лопастей, формирователем изображения лопастей и блоком распознавания первой лопасти и блоком вывода информации и имеющим некоторые отличия в методиках определения соконусности и балансировки лопастей:

1. Аппаратура определения соконусности вращения лопастей несущего винта вертолетов «СПАРК-КОНУС» [5], Научно-Производственного Объединения «СПАРК», Россия, рис.4.



Рис. 4. Аппаратура «СПАРК-КОНУС»

Аппаратура предназначена для определения соконусности вращения лопастей несущего винта вертолетов различных типов. Аппаратура используется взамен устаревших приспособлений при опробовании вертолета:

- на земле;
- на режиме висения;
- на различных полетных режимах.

#### Основные технические характеристики

Наименование показателя	Значение
Максимальная погрешность измерения несоконусности, мм	не более $\pm 1,0$
Электропитание, В	$27 \pm 20\%$
Масса, кг	не более 8,5
Габаритные размеры камерной головки, мм	340x125x125
Длина кабеля питания, м	5
Длина кабеля между камерной головкой и блоком обработки, м	7
Ток потребления, А	не более 0,25
Источник и напряжение питания, В	бортовая сеть, 24В
Рабочий диапазон температуры окружающей среды, °С	-25...+55

2. Аппаратура регулировки несущего винта «Оптикон-Вибро» [6], Новосибирского авиаремонтного завода, Россия, смотри рис.5.



Рис. 5.

а) Внешний вид аппаратуры

б) Установленная аппаратура на вертолете МИ-8

Аппаратура «Оптикон-Вибро» позволяет производить замеры не только на земле, но и в полете.

Аппаратура состоит из следующих узлов:

- видеоголовки обеспечивающей преобразование оптического изображения лопастей НВ в видеосигнал и его цифровую обработку;
- синхронизатора обеспечивающего определение фазы вращения НВ;
- видеоконтрольного устройства обеспечивающего отображение, обработку и хранение результатов измерений;
- устройство наведения, осуществляющее настройку оптической оси видеоголовки в рабочую зону.



Для выполнения измерений устройство наведения в сборе с видеоголовкой и синхронизатором устанавливается в проеме блистера грузовой кабины с помощью легкосъемного крепления. Для обеспечения работы синхронизатора на комлевую часть «первой» лопасти наклеивается светоотражающая пленка.

#### Основные технические характеристики

Наименование показателя	Значение
Максимальная погрешность измерения несоконусности, мм	не более $\pm 1,0$
Поле измерения видеоголовки относительно оптической оси, мм	800
Электропитание, В	$27 \pm 30\%$
Масса, кг	не более 6,5
Габаритные размеры, с креплением мм	434x434x344
Потребляемая мощность, Вт	не более 3,7
Рабочий диапазон температуры окружающей среды, °C	-35...+60

3. Аппаратура Zing™ Test FasTrak™ Optical Tracker, Honeywell, автоматического оптического слежения лопастей и днем и ночью без участия оператора [7] установлена на корпусе вертолета, смотри рис.6.

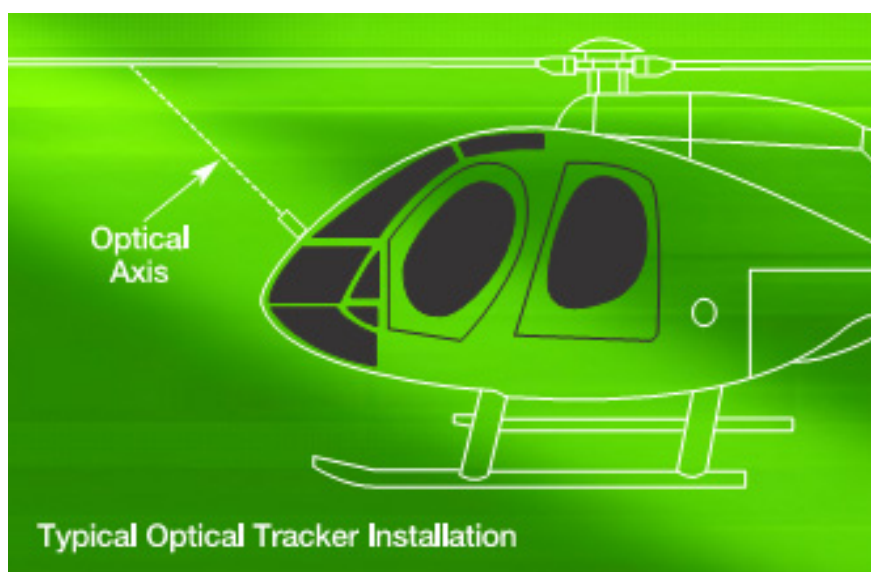


Рис. 6. Пример установки аппаратуры Zing™ Test FasTrak™ Optical Tracker

#### Основные технические характеристики:

Наименование показателя	Значение
Максимальная погрешность измерения несоконусности, мм	не более $\pm 1,0$
Электропитание, В	$12 \pm 10\%$
Масса, кг	не более 1,1 lbs.
Габаритные размеры, высота , диаметр,мм	125x88
Потребляемая мощность, Вт	не более 3,6
Рабочий диапазон температуры окружающей среды, °C	-40...+70

4. Комплект аппаратуры MicroVibTM II (США), смотри рис.7, содержит все необходимое для определения соконусности и балансировки несущих и рулевых винтов и приводных валов. Одним из существенных достоинств является оперативное проведение замеров оператором, которое проводится ручным наведением камеры на исследуемые лопасти НВ

Аппаратура состоит из следующих узлов:

- датчики вибрации с магнитным креплением- 3шт;
- набор кабелей и монтажные кронштейны;
- 4-х каналный мультиплексор с адаптером видеокамеры;
- оптическая камера высокого разрешения;
- портативные электронные весы;
- светоотражающие ленты;
- MicroVibTM анализатор.



Рис. 7. Комплект MicroVibTM

Прибор предназначен, в зависимости от набора, для балансировки и выведения соконусности лопастей несущих винтов вертолетов, как на земле, так и в полете, выполнения балансировки рулевых винтов, пропеллеров, вентиляторов, турбин (в т.ч. элементов горячих секций), валов трансмиссий, настройки гасителей вибраций, записи параметров вибрации (виброускорений) в кабине, анализа вибраций редукторов подшипников и других элементов трансмиссии.

В базе данных прибора MicroVib II имеются настройки для балансировки всех зарубежных и вертолетов типа: Ми-2, Ми-8, Ми-26, «Ансат», в том числе соосной схемы типа Ка-26, Ка-226, Ка-32 и всех их модификаций.

Следующим шагом развития процедуры регулировки несоконусности лопастей НВ вертолета является динамическая балансировка несущего винта вертолетов. Используются методы оптимизации процесса динамической балансировки несущего винта на основе вибрационных данных использующих измерение вибрации фюзеляжа вертолета в направлениях X,Y и Z относительно строительной оси вертолета.

В статье [8] представлен пример модернизации вертолетов Ми-8 при участии британской компании Bristow Helicopters, MBЗ им М.Л. Миля, ЦИАМ им. П.И. Баранова и ЗАО «Авиашельф» с установкой комплексной бортовой системы ROTABS-3 компании Maggitt Avionics. Разработанная система и бортовое оборудование, позволяет принимать решение о регулировках в системе несущего винта в результате сбора и обработки данных измерения вибраций фюзеляжа вертолета на различных режимах летной эксплуатации. Сейчас это бортовая система контроля двигателей БСКД ОАО «ТЕХПРИБОР», г. Санкт-Петербург, а также система регулировки несущего винта «ОПТИКОН-Вибро» ОАО «НАРЗ», г. Новосибирск. В литературе [9] проведен обзор существующих подходов к процедуре динамической балансировки несущего винта вертолетов. Рассмотрены методы оптимизации процесса динамической балансировки несущего винта на основе вибрационных данных. Приведены результаты исследования возможности реализации системы балансировки на основе

существующей бортовой системы контроля и диагностики и их сравнение с результатами работы системы Rotabs-3 для балансировки несущего винта вертолета Ми-8. Бортовая система балансировки основного и хвостового винтов Rotabs-3 известна, например из [10]. Rotabs-3 была успешно испытана и/или используется для снижения вибраций и балансировки винтов на широком круге легких и тяжелых вертолетов, типа: AS 332 (Супер Пума МК я и П), AS316/319, BO 105, BK 117, 109, Denel Oryx, Bell 206B Jet Rangers, S 76, SH 60, CH-53G, CH53 E, Ми-2, Ми-8, Ми-24 и PZL Сокол. Комплект Rotabs-3 представлен на рис.8.

Система Rotabs-3 решает проблему по источнику вибрации, и регулировка винтов проводится по наилучшей из возможных комбинаций наименьшего уровня вибрации.

Корректировки Rotabs-3 вычисляются из данных о вибрации, собранных вертолетной интегрированной системой диагностики (HIDS) или сейчас чаще называемой HUMS (Health and Usage Monitoring Systems) системой.

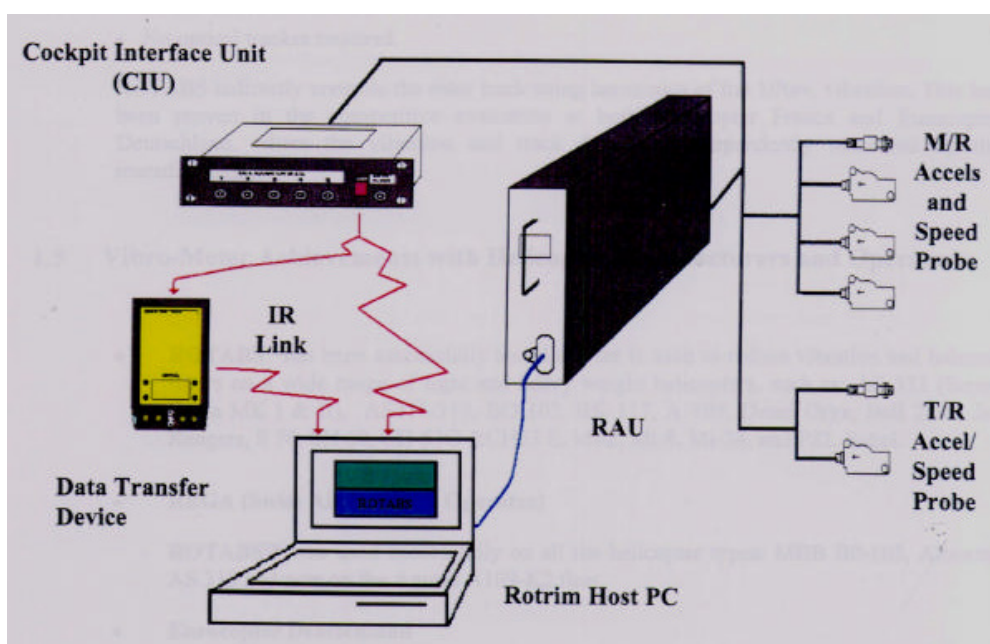


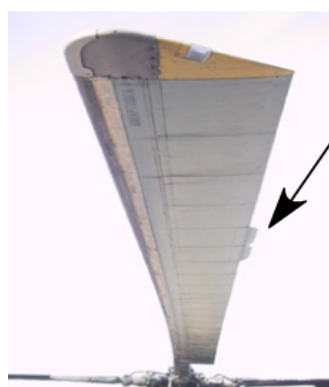
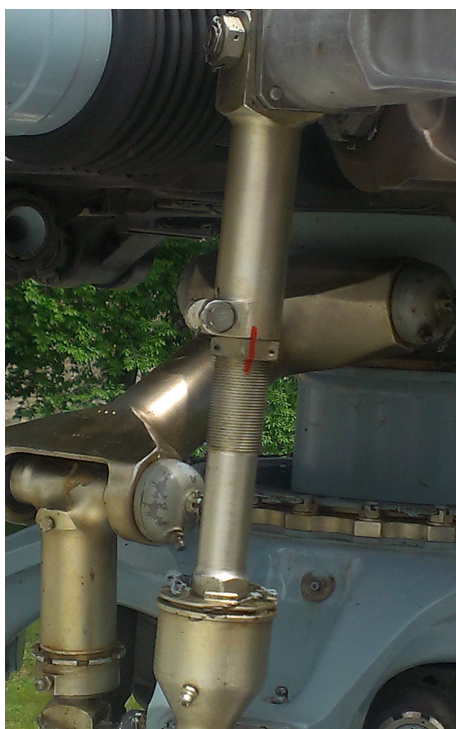
Рис. 8. Комплект Rotabs-3

Используются шесть вибропреобразователей в трех местах на фюзеляже. Эти вибропреобразователи расположены следующим образом: одноосные вибропреобразователи вертикальной вибрации, а также двухосные вибропреобразователи вертикального и бокового ускорения, прикрепленные к переборке сразу за спиной первого и второго пилотов. Один из них расположен вблизи левого плеча пилота, другой находится вблизи правого плеча второго пилота. Трехосный вибропреобразователь, воспринимающий вертикальную, боковую и горизонтальную вибрацию, расположен на потолке кабины, примерно в средней части фюзеляжа. Система одновременно обрабатывает все каналы вибропреобразователей, а затем принимает решение по регулировке несоконусности лопастей НВ вертолета, используя функцию передачи из набора данных обучения, которые включают чувствительность шага

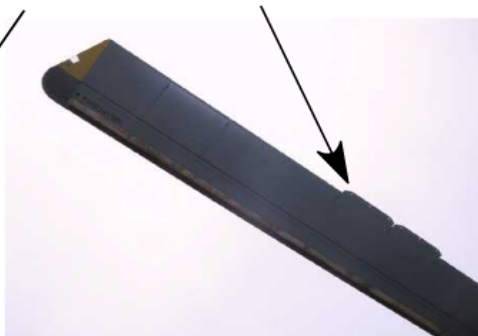
гайки тяги поворота лопастей НВ и чувствительность изгиба триммеров лопастей НВ. Из литературы [1] известно, что один оборот тяги поворота лопасти изменяет высоту конца лопасти примерно на 60-65мм, а отгиб триммеров лопасти на 1° вверх или вниз повышает или понижает плоскость вращения конца лопасти при оборотах несущего винта 95% на 20-25мм. На рис.9, показан пример элементов регулировки соконусности лопастей НВ вертолета МИ-8/17.

Сначала проводится, так называемое, обучение системы, при этом проводится контроль следа лопастей вертолета с применением камеры строчной развертки, нацеленной (от линии сканирования камеры) из окна левой стороны вертолета и управляемой членом экипажа.

Данные каналов вибрации отображаются в виде " А + В " и " А - В " используя терминологию твердого тела, "А+ В" мера вертикального движения фюзеляжа в местах пилота и второго пилота, в то время как "А - В" мера крена фюзеляжа вокруг продольной оси. Данные собирались на четырех испытаниях и при следующих режимах: на земле, в режиме висения, при скорости полета 120 узлов (192км), скорости полета 140 узлов (224км) и максимальной скорости поступательного движения.



Триммерные пластины



а) Гайка тяги поворота лопастей НВ

б) Триммеры лопастей НВ

Рис. 9. Элементы регулировки соконусности лопастей НВ

При этом, меняя положение угла тангажа лопастей НВ, поворотом по часовой или против часовой стрелки, гайки тяги поворота лопастей НВ записывались данные вибрации и трека лопастей НВ для разных углов тангажа. Аналогично записывались данные вибрации при изменении угла триммеров лопастей НВ.



Далее балансировка винтов проводится по записанным в базе данных вибраций и обработанным данным вибраций за один полет с учетом процедуры обучения описанной выше.

В литературе [11] - устройство для динамической балансировки несущего винта вертолета содержащее оптическую головку, узел обработки видеосигнала, содержащий блок предварительной обработки, блок выделения координат законцовок лопастей, блок усреднения координат законцовок лопастей, блок измерения временных интервалов, формирователь изображения лопастей и блок распознавания первой лопасти, и узел вывода информации, включающий блок накопления информации и блок индикации, дополнительно включены датчик ускорения, узел обработки сигнала датчика ускорения, включающего блок анализа разбалансировки. На рис. 10 представлена структурная схема устройства для динамической балансировки несущего винта вертолета. Предлагаемое устройство позволяет контролировать результаты регулировки лопастей НВ по уровню вибрации и производить дополнительные регулировки по их уменьшению.

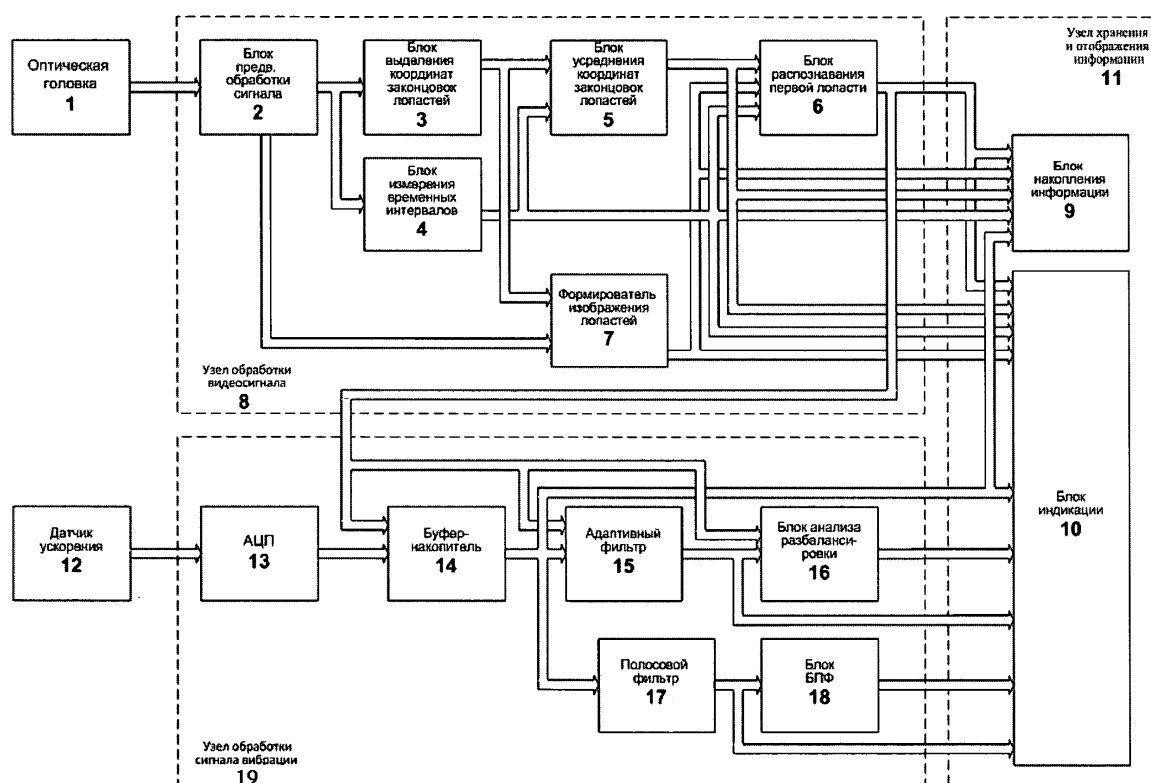


Рис. 10. Структурная схема устройства для динамической балансировки несущего винта вертолета

В литературе [12] сообщается, что американская компания Shake'd Technologies Inc разработала технологию, которая значительно облегчает процесс балансировки винтов. При ее использовании возможна более точная первичная корректировка баланса на земле, без необходимости дополнительных испытательных полетов.

Благодаря эффективным алгоритмам, система способна спрогнозировать отказ компонентов несущего винта и предупредить персонал. На рис.11 показано фото регулировки лопасти НВ вертолета

Причем, утверждается, что предлагаемая технология позволяет учитывать уровень вибраций в переходных режимах полета, таких как набор высоты, снижение, форсированные виражи, а также при изменениях взлетного веса. Новая балансировочная система учитывает данные, полученные во всех этих режимах для более точной коррекции на земле.



Рис. 11. Регулировка лопасти НВ вертолета Апач АН-64А

### Заключение

1. В статье представлен обзор методов определения несоконусности лопастей несущего винта вертолета фирм из США, Франции и России.

2. Отмечено, что оптические системы балансировки позволяют проводить балансировку лопастей НВ оперативней, безопасней и точнее по сравнению с механическими системами, однако существенным моментом является определение первой «лопасти» без которой регулировка невозможна.

3. Включение дополнительного канала контролирующего уровень вибрации фюзеляжа позволяет оптической системе балансировки проводить непосредственную оценку качества балансировки лопастей НВ и при необходимости, ее повторять с целью уменьшения вибрации фюзеляжа вертолета.

4. Внедрение систем контроля вертолета типа HUMS систем позволяет проводить балансировку лопастей НВ используя данные вибрации фюзеляжа вертолета. Такая система требует предварительного обучения, которая требует проведения тестовых, заведомо известных манипуляций по изменению углов тангажа лопастей и изгибу триммеров на лопастях с записью в базе данных вибрации фюзеляжа вертолета и с последующим анализом этих данных при реальной работе.

### Литература:

1. Вертолет МИ-8МТ: Руководство по технической эксплуатации. Планер М. Авиаэкспорт, 1988.- 220 с.
2. Chapter 4 Fm 1-514. Alignment And Tracking Procedures
3. A n d r e w J. H e s s, B i l l H a r d m a n, C h r i s N e u b e r t. SH-60 Helicopter Integrated Diagnostic System (HIDS) Program Experience and Results of Seeded Fault Testing
4. P. G r e g u s. Optics and Laser Technology. December 1982, p. 299-302
5. <http://snkplus.ru/apparatura-opredeleniya-sokonusnost>
6. [www.narp.ru](http://www.narp.ru)
7. [www.vibratech.fr](http://www.vibratech.fr)
8. К о с т и н, В., Модернизация российских вертолетов: требование времени. Журнал АвиаСоюз/ноябрь-декабрь / 2011, стр. 2-4
9. Г о л о в а н о в, В. В., Е. И. К о з л о в, М. Н. П е т у х о в. Динамическая балансировка несущего винта вертолета на основе данных о вибрации фюзеляжа. ISBN 5-7262-0633-9. НАУЧНАЯ СЕССИЯ МИФИ-2006. Том 12
10. <http://www.vibro-meter.ru/>
11. Б о р и с о в, П. Ю, М у р а в ь е в А. Ю, К о л е с н и к А. И. Устройство для динамической балансировки несущего винта вертолета. Классы МПК7: G01M1 B64D45 B64C27/04